ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME V OCTOBRE 1946 NUMÉRO 20

Les méthodes et les limitations de la science

Le trait principal de la Renaissance, et par là nous entendons la Renaissance des sciences et des humanités, fut un retour à la liberté de la pensée. Il ne suffit plus aux humanistes, aux poètes et aux artistes européens de chercher leur inspiration dans les enseignements de la scolastique, dans le dogme ecclésiastique ou tout autre mode d'expression du Moyen-Age finissant: une audace intellectuelle nouvelle libéra les esprits des traditions étroites et les renvoya aux grands penseurs de la Grèce et de Rome.

Ce serait toutefois une erreur de croire que cette nouvelle indépendance fut acquise en un jour: au début on ne fit que remplacer une série de maîtres par d'autres. Les pédants scolastiques furent méprisés ou ignorés, mais les leçons d'Hippocrate, de Platon ou d'Aristote furent accueillies au début sans plus d'esprit critique que celles d'Abélard, d'Albert-le-Grand ou de Saint Thomas d'Aquin. Les œuvres des grands philosophes de l'antiquité furent en effet acceptées pendant un certain temps comme des vérités intégrales et ne furent pas soumises à cet examen critique sans lequel aucun progrès réel n'est possible. Non que l'on ait manqué d'hommes capables de raisonner logiquement: mais un argument logique basé sur des prémisses erronées ne peut conduire qu'à des conclusions fausses, même si ces prémisses viennent d'Aristote.

Néanmoins le premier pas, qui coûte toujours le plus, avait été fait, et, graduellement, l'on réalisa que les raisons mêmes qui avaient fait rejeter les autorités du Moyen-Age faisaient douter de l'infaillibilité des autorités plus anciennes: plus confiants en eux-mêmes, les intellectuels s'abstinrent de donner créance à des assertions qu'ils n'avaient pas vérifiées eux-mêmes, quelle qu'en fût la source: ce stade atteint, la route était libre pour des progrès rapides.

Nous publions dans ce numéro un article célébrant le quatrième centenaire de la naissance de Tycho Brahé. Bien que ses travaux d'astronomie aient permis à Képler de formuler ses lois sur le mouvement des planètes, sa contribution aux progrès de la science est plus importante encore par d'autres côtés: n'a-t-il pas en effet clairement reconnu qu'il était indispensable, avant d'entamer toute discussion ou d'énoncer toute théorie, de réunir, soit par observation soit par expérience, les faits essentiels. Cette méthode expérimentale qu'adoptèrent Boyle, Newton et tous les grands naturalistes, c'est dans son essence toute la « méthode scientifique » moderne: l'investigation des phénomènes naturels en rassemblant des faits par l'observation et l'expérimentation et en les utilisant pour formuler une théorie. Celle-ci permet à son tour de faire des prédictions qui contrôleront d'autres observations et expériences. Si les prédictions se réalisent, la vérité pratique de la théorie s'en trouve confirmée; sinon il faut modifier ou même abandonner la théorie à la lumière de ces faits nouveaux.

La facilité avec laquelle le savant est prêt à rejeter ses théories trouble généralement le profane qui y voit un signe de faiblesse et de confusion: La science, dit-il, nous donne continuellement des explications différentes pour les phénomènes naturels, et cette assertion comporte une critique. Elle implique en fait que les leçons de la science sont peu sûres puisque leur expression est si variable. Erreur évidente, et toutefois si commune, qu'elle est en vérité l'obstacle majeur à la compréhension de la science par le profane. Pour supprimer cet obstacle, il faut lui faire comprendre que pour le savant, « explication » ne signifie pas plus que « description », ou, plus exactement « description de l'obscur en termes clairs ». Ceci bien compris, le reste suit sans difficulté: des descriptions du même jeu de phénomènes peuvent être plus ou moins précises

comme plus ou moins complètes. L'enfant décrira la vache comme une bête qui a quatre pattes, mange de l'herbe et donne du lait: description exacte; dire que la vache est la femelle adulte, sauvage ou domestique, appartenant au genre « Bos » est aussi exact; aucune de ces descriptions n'est toutefois complète. Quand une vieille théorie est abandonnée pour une nouvelle, c'est qu'elle n'était pas assez précise, ou pas suffisamment complète. Dans la description de la nature, ces deux qualités ne peuvent évidemment être qu'un idéal impossible à atteindre, mais dont le savant essaye de s'approcher toujours davantage. La méthode scientifique ne présente pas ses théories comme des dogmes: elles ne sont, comme les balances ou les tubes à essai, que l'équipement nécessaire au savant.

C'est à la méthode scientifique, qui a prouvé son immense valeur dans toutes les sciences physiques, qu'est due la rapidité avec laquelle nos connaissances se sont développées dans ces trois derniers siècles; elle est aujourd'hui si universelle que nous réalisons difficilement combien elle est récente. Il serait toutefois dangereux de croire qu'elle nous donne les moyens de résoudre tous les problèmes en dehors des sciences naturelles. Bien que puissante, elle n'est pas omnipotente; nous ne pouvons même pas prévoir qu'elle doive le devenir; à l'intérieur même de son domaine mathématique et physique, elle a ses limitations; c'est souvent plus par l'intuition que par une méthode rigoureuse que sont résolues les équations différentielles de la physique moderne. Selon le principe d'indétermination d'Heisenberg, dont le champ d'application semble maintenant si étendu, un ensemble d'observations, quelle qu'en soit la précision, peut être susceptible d'interprétations alternatives à chacune desquelles on ne peut assigner qu'un certain degré de probabilité. De ce fait le physicien moderne tend à abandonner l'idée que le présent détermine l'avenir.

Il a fallu modifier les formes simples de la méthode scientifique pour étudier les phénomènes à variables multiples où les expériences témoins sont impossibles; là se révèle l'incalculable valeur des méthodes statistiques. La météorologie, objet dans le présent numéro d'un article de Sir Nelson Johnson, présente de nombreux problèmes de cet ordre. Si de récents travaux ont permis de grands progrès dans les méthodes employées pour recueillir des données sur des variables comme la pression atmosphérique, la température, la vitesse du vent, l'humidité, il n'en faut pas moins encore aujourd'hui dans l'interprétation de ces données se contenter de probabilités au lieu de certitudes.

Il nous faut aussi franchement reconnaître que dans les domaines où nous estimons des qualités qui ne sont pas mesurables physiquement, la méthode scientifique — tout au moins à son niveau actuel de croissance — est inapplicable. Le domaine artistique nous en fournit une parfaite démonstration: car si la méthode scientifique nous donne toutes informations sur la nature chimique des pigments, la longueur d'onde de la lumière qu'ils réfléchissent et autres facteurs semblables, elle est absolument incapable de prédire si le tableau terminé sera esthétiquement attrayant. Elle ne peut non plus nous aider dans les questions concernant le théâtre, la littérature, en un mot tout domaine où les qualités ne sont pas susceptibles de mesures physiques, et où la connaissance ne peut s'exprimer en termes mathématiquement précis. La méthode scientifique ne peut être appliquée, même sous forme d'analyse statistique, aux problèmes humains, si ceux-ci sont jugés suivant une échelle de valeurs proprement philosophiques: bonté, vérité, beauté, ou influencés par des émotions: patriotisme, peur, ou convictions politiques.

Certains voient dans la science la route la plus sûre pour le progrès humain, d'autres le chemin de la ruine. La vérité est quelque part entre ces deux extrêmes. Nous ne pouvons dire exactement où, mais nous savons au moins que la science exerce une influence toujours plus profonde sur l'avenir de l'humanité. Il est donc essentiel que ceux qui gouvernent les nations et à qui incombe la responsabilité de graves décisions sachent bien reconnaître le domaine, mais aussi les frontières de la science d'aujourd'hui.

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Editions en Langues Etrangères, Rédacteur: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, London, S.W.1.

Quelques aspects récents de la météorologie

SIR NELSON JOHNSON

Bien que l'homme ait eu depuis toujours à tenir compte des phénomènes atmosphériques, la météorologie en est encore à ses débuts car il y a relativement peu de temps que les circonstances lui ont permis de devenir une véritable science. Cet article est consacré à l'examen des facteurs qui ont si longtemps retardé l'étude scientifique du temps et à l'exposé des grandes lignes de cette étude maintenant en cours.

Depuis l'antiquité et jusqu'au XIXe siècle, les philosophes ont essayé d'expliquer sans y réussir la succession des phénomènes atmosphériques observés par eux en un endroit donné. Ces phénomènes semblaient se succéder sans obéir à aucune règle, et cet état de choses est résumé dans le dicton classique: « Le vent souffle où bon lui semble ».

Les individus travaillant en plein air remarquèrent peu à peu que certains aspects du ciel semblaient présager la pluie ou le beau temps. La plupart de ces « règles » n'étaient applicables que pour des prévisions de quelques heures, et si certaines d'entre elles comportaient une part de vérité, la plupart étaient dépourvues de fondement pratique ou théorique.[1]

Dans certains cas, la seule méthode possible est encore l'observation en un seul endroit. Il est nécessaire dans ce cas de soumettre les données obtenues à une étude statistique. Néanmoins, pour beaucoup d'éléments météorologiques, les écarts de la moyenne sont si importants que la déviation moyenne de la grandeur observée est souvent aussi importante que la valeur moyenne elle-même.

L'invention du baromètre en 1643 et la découverte du fait que la pression atmosphérique subit des variations ont été des évènements marquants. Néanmoins ils n'ont pas été suivis immédiatement par les progrès que l'on aurait pu en attendre dans la dynamique météorologique.

L'horizon commença à s'éclaircir lorsque l'on décida de figurer graphiquement les observations faites simultanément dans une région donnée. Cet évènement ne se produisit qu'au début du XIXe siècle, mais il mit immédiatement en lumière la relation entre la pression et le vent, et révéla la structure organique de la dépression, et il a ouvert la voie au traitement mathématique employé deux générations plus tard.

[1] G. Kimble et R. Bush. *The Weather* (Collection Pélican).

Mais le progrès était très lent car à cette époque c'était une tâche difficile que de réunir toutes les observations faites dans une région étendue. L'invention du télégraphe électrique, vers le milieu du siècle, opéra une révolution. Il devint rapidement possible d'établir chaque jour des cartes « synoptiques » couvrant une surface étendue. Il devint nécessaire de procéder à des échanges internationaux d'observations, et pendant la deuxième moitié du XIXe siècle, on fit de grands efforts pour établir une coopération internationale sur une base solide.

Les prévisions données étaient encore en grande partie empiriques, mais l'on continua l'étude physique et dynamique des systèmes de pression. On reconnut la co-existence dans les dépressions de courants d'air chaud provenant des régions équatoriales et de courants froids provenant des régions arctiques, et les mathématiciens essayèrent de découvrir dans quelles conditions deux courants de ce genre juxtaposés resteraient stables. Mais ce n'est que pendant la deuxième décade du XXe siècle que les météorologistes norvégiens Bjerknes père et fils, énoncèrent une théorie satisfaisante à la fois au point de vue physique et au point de vue mathématique.

D'après la théorie des Bjerknes, une dépression se forme en un point de la limite de séparation entre un courant d'air chaud et un courant d'air froid. L'air chaud forme une saillie dans le courant froid, et le centre du cyclone se trouve à la pointe de cette saillie ou « secteur chaud ». La limite antérieure du secteur chaud est appelée le « front chaud » et celui-ci est caractérisé par le fait que l'air chaud glisse par dessus l'air froid le long d'une surface dont l'inclinaison par rapport à l'horizontale est d'environ 1/150. La limite postérieure du secteur chaud est le « front froid » et là l'air froid enfonce un coin sous la masse d'air chaud et la soulève au-dessus du sol. L'angle du coin est d'environ 1/50. La combinaison

de ces deux processus a pour résultat d'étrangler le secteur chaud jusqu'à ce qu'il ne soit plus au contact du sol. A partir de ce point la dépression diminue d'intensité.

Trente d'années d'expérience ont montré que la théorie des Bjerknes donne d'excellents résultats pour les prévisions météorologiques, et qu'il y a beaucoup de chances pour qu'elle soit exacte au moins dans ses grandes lignes. En ce qui nous concerne, le caractère qui nous intéresse le plus est le fait qu'elle fasse intervenir la dimension

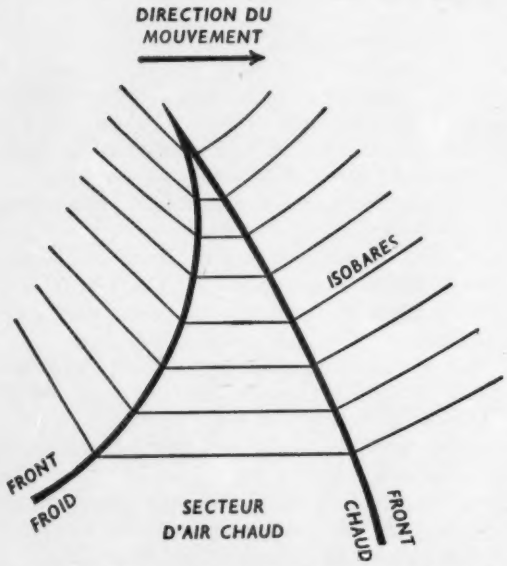


FIGURE 1 – *Structure d'une dépression (d'après Bjerknes).*

verticale. Il n'est plus possible actuellement de considérer une dépression comme un phénomène se produisant tout près du sol. Il est nécessaire d'étudier ce qui se passe depuis le niveau de la mer jusqu'à la base de la stratosphère, et si possible dans la stratosphère elle-même.

On s'aperçut alors qu'il était nécessaire de connaître les mouvements et les conditions physiques de la haute atmosphère. Néanmoins il n'y a que quelques années que l'on a pu mettre au point des moyens d'obtenir les renseignements nécessaires. C'est dans ce domaine de l'observation technique que l'on a réalisé récemment les progrès les plus importants.

L'un des renseignements sur la haute atmosphère qu'il importe le plus au météorologiste de connaître est le mouvement de l'air dans cette région. Il lui permet de renseigner l'aviateur sur le vent qu'il rencontrera, et il est également très important au point de vue de la dynamique et de la persistance des cyclones et des anticyclones.

La méthode couramment employée pour mesurer la vitesse du vent dans la haute atmosphère consiste à suivre au moyen d'un théodolite le déplacement d'un ballon pilote. L'emploi de cette méthode est évidemment limité puisqu'elle n'est utilisable que si le ciel est sans nuages. On a mis au point deux méthodes qui permettent de surmonter cette difficulté.

Dans la première méthode, trois stations radiogoniométriques sont disposées au sol et forment un triangle d'environ 40 km de côté. On lache un ballon d'environ 2 m de diamètre transportant un petit appareil émetteur de T.S.F. en un point situé près du centre du triangle. Le ballon est rempli d'hydrogène de façon à s'élever de 6 m/sec, et ses émissions radiophoniques permettent aux stations radiogoniométriques de le suivre. Les relèvements du ballon par rapport à chaque station sont portés toutes les minutes sur un graphique, son trajet est donné par leur intersection, et l'on peut en tirer immédiatement la vitesse et la direction du vent. Le ballon atteint généralement une altitude de 18 km avant d'éclater et l'appareil émetteur est ramené au sol par un parachute.

L'équipement radiogoniométrique employé par les trois stations d'observation a été mis au point au Laboratoire National de Physique, à Teddington. Il consiste essentiellement en une antenne du type Adcock H avec dipôles verticaux et capable de tourner autour d'un axe vertical. Le circuit récepteur est accordé sur la fréquence de l'appareil émetteur transporté par le ballon et le relèvement de celui-ci est obtenu en faisant tourner l'antenne jusqu'au moment où le silence dans le téléphone indique que l'antenne est perpendiculaire à l'onde émise.

Pour que les résultats obtenus par cette méthode soient exacts, il est nécessaire d'observer rigoureusement un certain nombre de règles. Les antennes doivent évidemment être rigoureusement symétriques, mais il faut également prendre soin d'éliminer tout ce qui peut provoquer la réfraction du faisceau radiophonique émis. Les bâtiments d'observation ne doivent comporter aucune trace de fer: il ne doit y avoir ni barrières métalliques, ni lignes de haute tension, ni bâtiments, ni arbres, ni haies dans le voisinage, et l'emplacement doit être nivelé et de sous-sol uniforme.

A cause de ces règles difficiles à observer, et du fait qu'il est nécessaire d'avoir trois postes

d'observation, cette méthode cède peu à peu le pas à la méthode de radio-location.

Dans cette méthode on suit également la marche d'un ballon libre analogue. Un émetteur installé au poste d'observation envoie des impulsions de radar vers le ballon qui transporte un dispositif spécial lui permettant de réfléchir ces impulsions vers l'appareil récepteur. L'appareil récepteur est situé près de l'émetteur et donne l'azimut, l'altitude, et la distance du ballon. A partir de ces trois données on évalue la marche du ballon de minute en minute.

Les appareils transmetteur et émetteur à ondes courtes sont montés sur une remorque de camion, les antennes émettrice et réceptrice sont placées au foyer de deux miroirs paraboloïdes de 120 cm de diamètre installés sur le toit. Les deux miroirs sont fixés côte à côte sur une charpente qui peut tourner en azimut et en élévation. L'opérateur déplace l'appareil jusqu'à ce que l'intensité du signal reçu atteigne son maximum, ce qui indique que les axes des deux miroirs sont dirigés sur le ballon.

Le réflecteur spécial transporté par le ballon est construit sur le principe du « réflecteur angulaire ». Trois plans perpendiculaires les uns aux autres, tels que dans le coin d'une boîte par exemple, ont la propriété de renvoyer par le même chemin n'importe quel rayon incident. Pour la recherche du vent le réflecteur est constitué par du papier métallique tendu sur une carcasse légère en bois formant trois plans se coupant réciproquement, l'un horizontal, les deux autres verticaux (figure 2). Bien que ce réflecteur se balance lorsqu'il est suspendu au-dessous du ballon, les faisceaux radar qui l'atteignent sont toujours renvoyés au récepteur au sol avec le maximum d'intensité.

La figure 3 donne une illustration du type de résultats donnés par les deux méthodes de mesure de vent que nous venons de décrire, et montre la structure du vent telle qu'elle était le 9 novembre 1944. A midi ce jour là (graphique *A*) le vent atteignait sa vitesse maximum qui était de 41 m/sec à une altitude de 10 km. A minuit (graphique *B*) la vitesse du vent à la même altitude atteignait 102 m/sec. Avant l'utilisation de ces méthodes modernes de mesure du vent, on ne soupçonnait pas l'existence de vitesses aussi grandes car on ne les rencontre que dans des conditions cycloniques et le ciel est fortement nuageux. La rapidité avec laquelle la vitesse s'est accrue en douze heures est peut-être plus remarquable encore que la vitesse elle-même.

Ces méthodes de mesure du vent sont limitées pour le moment à une altitude de 18 km. Pendant la guerre, l'occasion s'est présentée de mesurer la vitesse du vent à une altitude de 30 km. Bien que cette méthode ne puisse être intégrée dans la routine des stations météorologiques en général, elle a donné des résultats d'un intérêt et d'une importance rares. Cette méthode comporte l'emploi d'un canon spécial qui envoie un projectile en l'air à une vitesse très grande. Le projectile est amorcé de façon à exploser au sommet de sa trajectoire et donne un flocon de fumée qui peut être observé du sol au moyen d'un théodolite. Une série de mesures faites dans le sud-est de l'Angleterre à des intervalles de quinze jours environ pendant une période de quinze mois, a

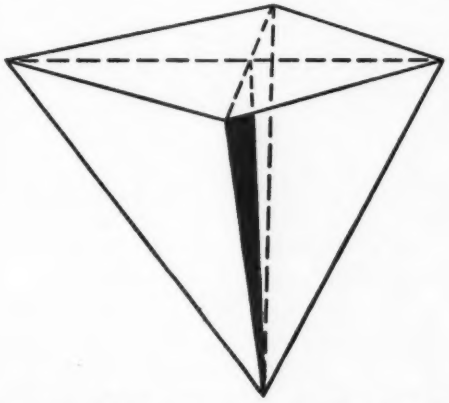


FIGURE 2 – « *Réflecteur angulaire* » *transporté par le ballon dans la recherche du vent par radio-location.*

montré que pendant l'hiver, à une altitude de 30 km, le vent souffle généralement de l'est, tandis qu'en été il vient surtout de l'ouest. Le changement se produit aux environs d'avril et d'octobre. On a trouvé de plus que les vents d'hiver sont plus forts que les vents d'été, ils atteignent en moyenne 37 m/sec alors que les vents d'été atteignent seulement 12 m/sec. La vitesse la plus grande observée pendant cette période était de 66 m/sec.

En dehors du mouvement de l'air dans la haute atmosphère, le météorologiste doit également connaître ses propriétés physiques, c'est-à-dire sa pression, sa température et son degré d'humidité. Il obtient ces renseignements au moyen d'une radio-sonde qui est peut-être l'un des instruments météorologiques les plus intéressants. Non seulement il mesure les propriétés dont nous venons de parler, mais encore il envoie automatiquement

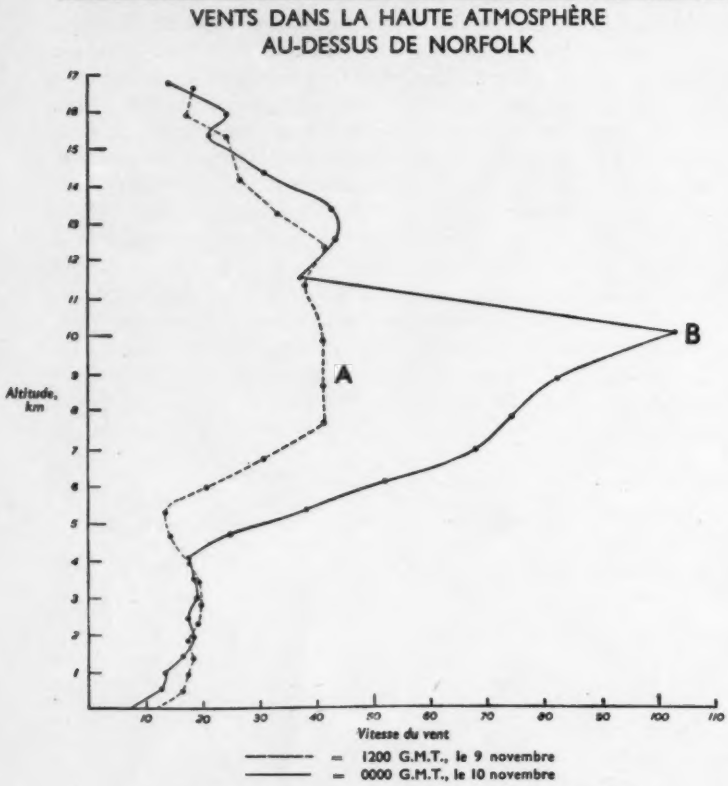


FIGURE 3 – *Structure du vent à (A) midi et (B) minuit le 9 novembre* 1944.

des signaux de T.S.F. donnant à l'observateur au sol les valeurs correspondant à chacune de ces propriétés.

Une radio-sonde comporte deux parties principales. La première est l'équipement sensible aux conditions météorologiques comprenant un élément réagissant à la pression, un autre à la température, et un troisième à l'humidité de l'atmosphère. La seconde partie est l'appareil émetteur de T.S.F. accompagné d'un dispositif qui permet aux variations météorologiques d'imprimer des variations correspondantes aux émissions radio-électriques.

La plupart des radio-sondes sont basées sur l'un des principes suivants. Le premier est le principe chronométrique qui est illustré figure 4. Si l'on imagine une tige tournant d'un mouvement uniforme et un contact fixe en un point de la circonférence, le contact se produira à des intervalles réguliers égaux à la période de rotation de la tige. Si l'on introduit sur la circonférence un deuxième contact dont la position varie sous l'action d'un élément sensible à la pression, l'intervalle de temps écoulé entre le contact fixe et le contact mobile donne une mesure de la pression. Si la circonférence est divisée en trois secteurs, l'un d'eux peut être réservé aux variations de pression (P), le second aux variations de température (T), et le troisième aux variations d'humidité (U). On peut donc obtenir les mesures de pression, de température et d'humidité en observant successivement les intervalles de temps. La seule opération nécessaire consiste à recevoir sur un chronographe le message émis par T.S.F. et de lire les intervalles de temps obtenus, qui peuvent être interprétés au moyen d'un graphique de calibrage adapté à chaque appareil émetteur. C'est ce principe qui a été adopté pour la construction des instruments canadien, indien et français.

L'autre principe employé dans les radio-sondes consiste à faire modifier la fréquence d'émission par les éléments météorologiques. La fréquence d'un circuit électrique est déterminée par sa capacité, sa résistance et son inductance: on peut donc faire varier la fréquence en faisant varier l'un ou l'autre de ces éléments. Dans les instruments finlandais c'est la capacité du circuit qui varie; dans les instruments américains c'est la résistance, et dans les instruments britanniques dont le prototype a été construit par le Laboratoire National de Physique, c'est l'inductance.

La pièce principale de l'instrument canadien est une lame de laiton courbée de façon à avoir la forme d'une spirale équiangle qu'un petit moteur électrique fait tourner d'un mouvement régulier (figure 5). Les trois éléments météorologiques sont disposés autour et chacun fait mouvoir une tige portant un fin fil de contact à son extrémité. La déviation de la position normale de l'une quelconque de ces tiges fait varier le moment où se produit le contact, et l'on peut ainsi tirer la première variation de la seconde. Deux contacts fixes placés l'un près de l'autre servent à distinguer la position témoin des contacts variables.

L'élément météorologique indiquant les

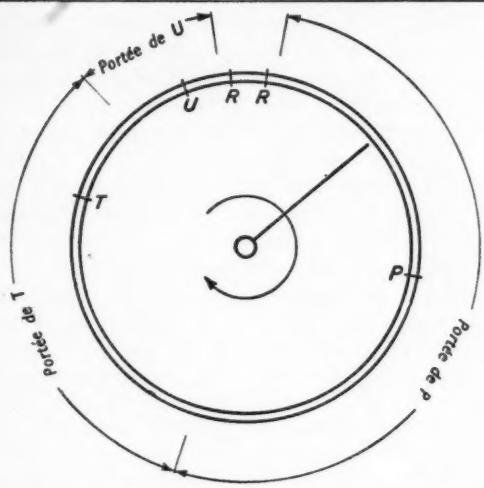


FIGURE 4 – *Principe chronométrique employé dans certaines radio-sondes.*

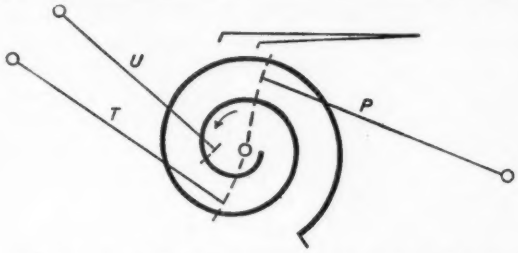


FIGURE 5 – *Dispositif chronométrique d'une radio-sonde canadienne.*

changements de pression consiste en une capsule anéroïde, tandis que pour les variations de température on utilise une bobine bi-métallique et pour les variations d'humidité un hygromètre à cheveu. L'enregistrement est reçu au sol sur un chronographe ingénieux qui porte automatiquement sur le graphique la pression, la température et l'humidité en fonction du temps.

La radio-sonde conçue par Vaïsala, en Finlande, est un excellent exemple d'instrument du type à variation de fréquence. La figure 6 en donne la disposition générale. Les éléments météorologiques sont analogues à ceux de l'instrument canadien mais chacun d'eux porte une plaque de condensateur dont le mouvement fait varier la capacité, et par conséquent la fréquence, du circuit émetteur. Un aéromoteur fait fonctionner un commutateur tournant qui fait entrer tour à tour dans le circuit chacun des condensateurs variables. L'appareil comporte également deux condensateurs fixes servant de repère.

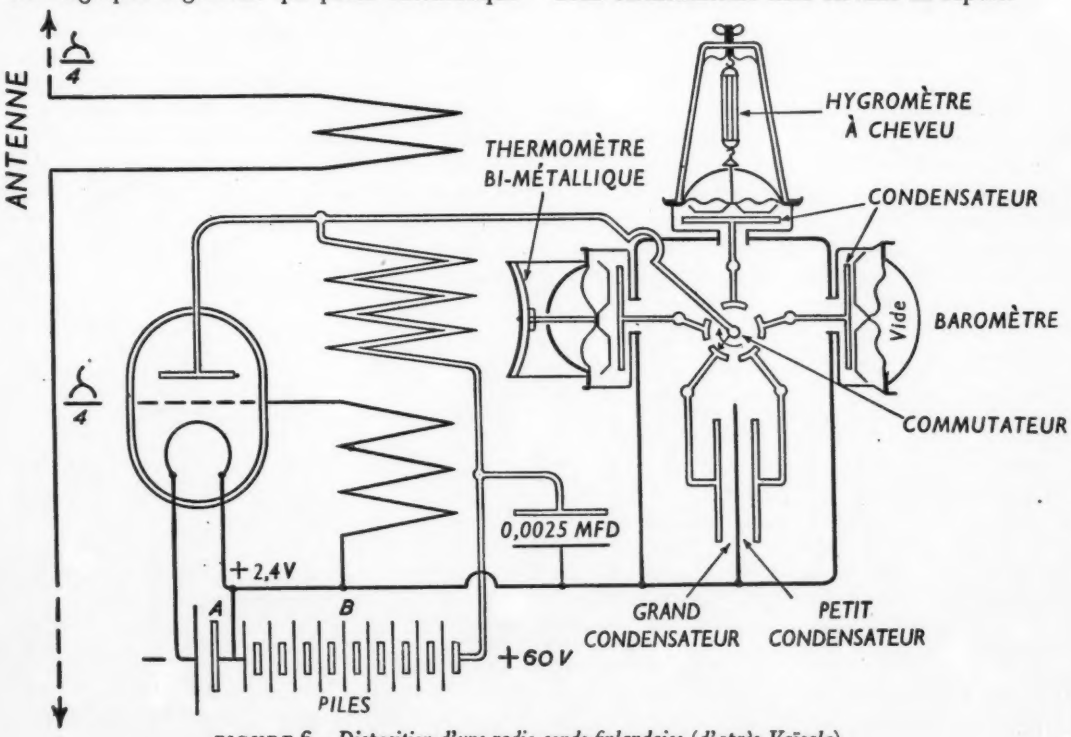


FIGURE 6 – *Disposition d'une radio-sonde finlandaise (d'après Vaïsala).*

La radio-sonde britannique ressemble dans ses grandes lignes à l'appareil finlandais, mais elle présente deux différences principales. La première est le fait que chaque élément météorologique est construit de façon à faire varier l'inductance d'un bobinage à noyau de fer déplaçant un induit d'avant en arrière par rapport au noyau de fer en forme d'U. La seconde différence importante réside dans le fait que dans l'instrument britannique la fréquence fondamentale des émissions reste constante et que les variations sont produites dans une modulation d'audio-fréquence superposée à la fréquence fondamentale. Comme dans l'appareil finlandais on emploie un commutateur tournant à aéromoteur. La figure 7 donne un dessin de la radio-sonde britannique.

La radio-sonde américaine est basée sur les variations de résistance du circuit électrique. Les variations de pression sont données par deux capsules anéroïdes qui font mouvoir une tige au-dessus d'une série de contacts. L'élément de température est constitué par un tube de verre rempli d'un électrolyte incongelable. Le coefficient de température de la conductance de cet électrolyte étant très élevé, on peut se servir de sa résistance pour indiquer la température.

L'hygromètre de l'instrument américain est également nouveau. Il est basé sur les variations de résistance d'une pellicule imprégnée de chlorure de lithium lorsque celle-ci est soumise à des atmosphères dont le degré d'humidité varie.

On a consacré beaucoup de temps et de soin à déceler et à éliminer les causes d'erreur dans la radio-sonde britannique. On a notamment étudié les effets du rayonnement intense rencontré à des niveaux élevés. Il affecte non seulement les éléments météorologiques mais aussi partiellement le circuit électrique. On considère maintenant que la radio-sonde britannique donne la température avec une précision de 0,5° C. La précision recherchée pour les mesures de pression est de un millibar.

On ne peut considérer comme satisfaisants aucun des hygromètres utilisés dans les radio-sondes. Le retard dans la réaction des cheveux devient excessif aux températures très inférieures à 0° C. Dans l'appareil britannique on emploie maintenant de la baudruche, mais bien qu'elle soit nettement supérieure aux cheveux, elle devient virtuellement inutilisable au-dessous de — 25° C.

La seule méthode satisfaisante de mesure de l'humidité atmosphérique aux basses températures est l'emploi de l'hygromètre à congélation récemment mis au point par Dobson et Brewer. Mais pour le moment on n'est pas encore parvenu à le perfectionner pour le rendre utilisable sans opérateur, et l'on ne peut donc s'en servir dans une radio-sonde.

On peut rencontrer dans la stratosphère des températures allant jusqu'à — 80° C et à de pareilles températures les quantités maximum de vapeur d'eau présente sont si infimes qu'il est impossible de les déterminer quantitativement par la plupart des méthodes existantes. Néanmoins, l'abaissement du point de formation de givre au-dessous de la température de l'air reste une quantité assez grande. En effet, à une température de — 50° C, l'abaissement du point de formation de givre pour 50% d'humidité relative est d'environ 5° C.

L'hygromètre de Dobson et Brewer est basé sur le même principe que l'hygromètre à condensation

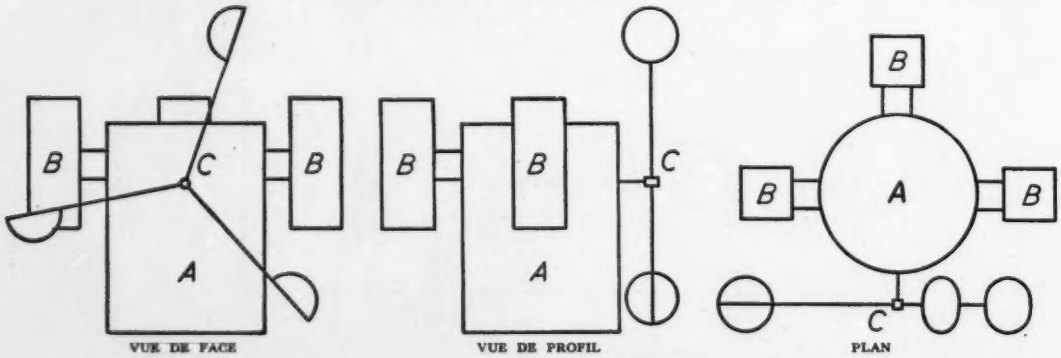


FIGURE 7 – *Radio-sonde britannique.*

A = corps cylindrique renfermant l'appareil émetteur de T.S.F. et les piles.

BBB = écrans protecteurs contre le rayonnement placés autour des éléments de pression, de température et d'humidité.

C = aéromoteur faisant fonctionner le commutateur tournant.

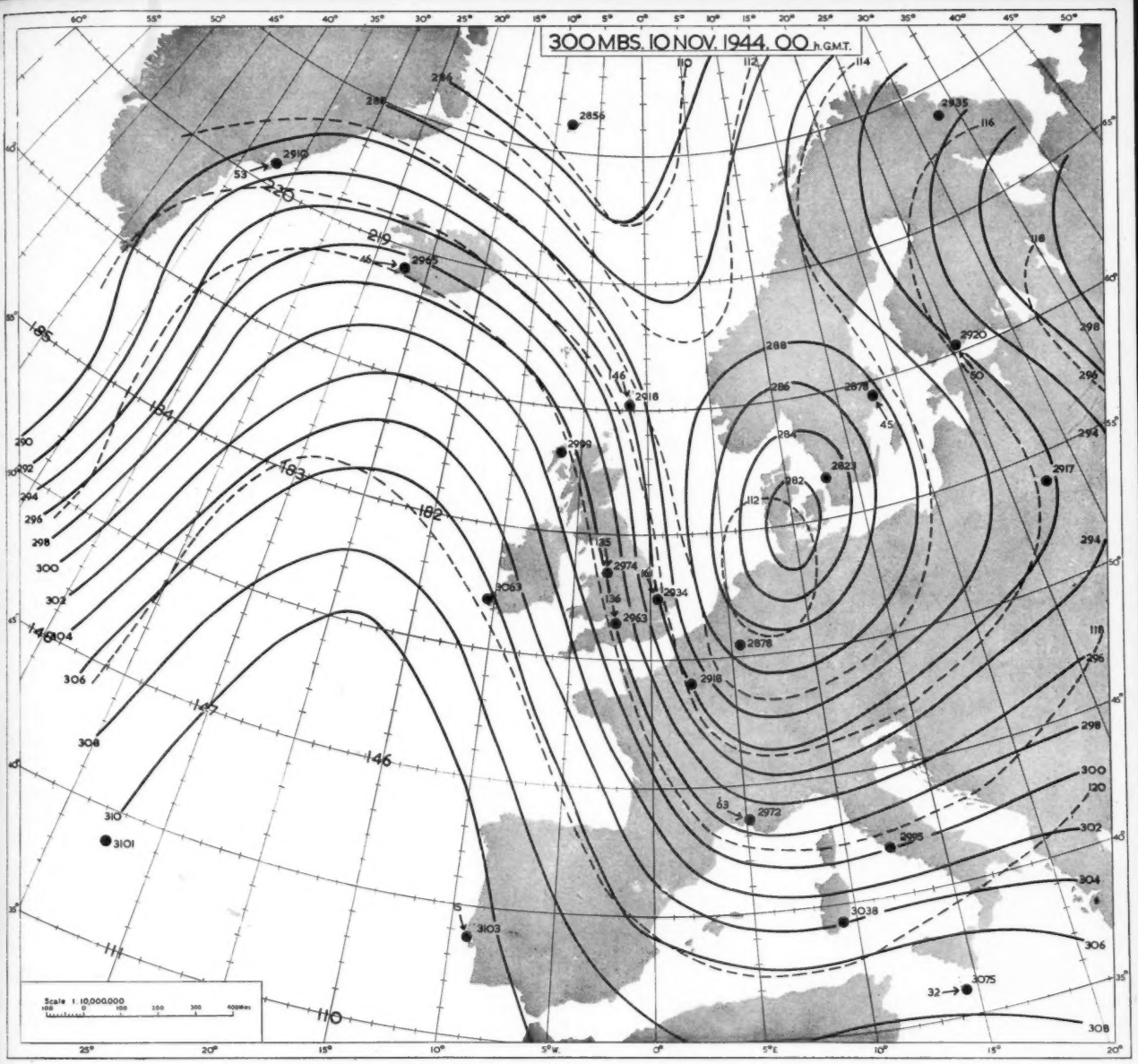


FIGURE 8 – *Carte de la haute atmosphère* (300 *mb*) *pour* 0 *h le* 10 *novembre* 1944.

Voir pp. 135–6. Les flèches et les chiffres qui les accompagnent indiquent la direction et la vitesse du vent.

de Regnault dans lequel une surface métallique est refroidie jusqu'à ce qu'il s'y dépose de la rosée. La figure 10 montre comment est construit l'appareil de Dobson. Un godet de cuivre (*B*) est placé au-dessus d'un flacon de Dewar contenant de l'essence refroidie par addition de neige carbonique. Au moyen d'une pompe à main on peut projeter l'essence refroidie contre la face interne du godet, il se forme alors un dépôt de givre sur la face externe. La température à laquelle ceci se produit est enregistrée au moyen d'un thermomètre serti dans le godet. La formation du dépôt est décelée au moyen d'une cellule photoélectrique qui s'avère nettement plus sensible que l'œil humain. Un rayon lumineux est dirigé obliquement sur la surface extérieure du godet et le rayon réfléchi est capté en *G*. Lorsqu'il se dépose du givre à la surface du godet, un peu de lumière est dispersée et frappe la cellule photoélectrique *H*. Dans la pratique la température du godet est réglée de façon à ce que le microampèremètre de la cellule photoélectrique donne

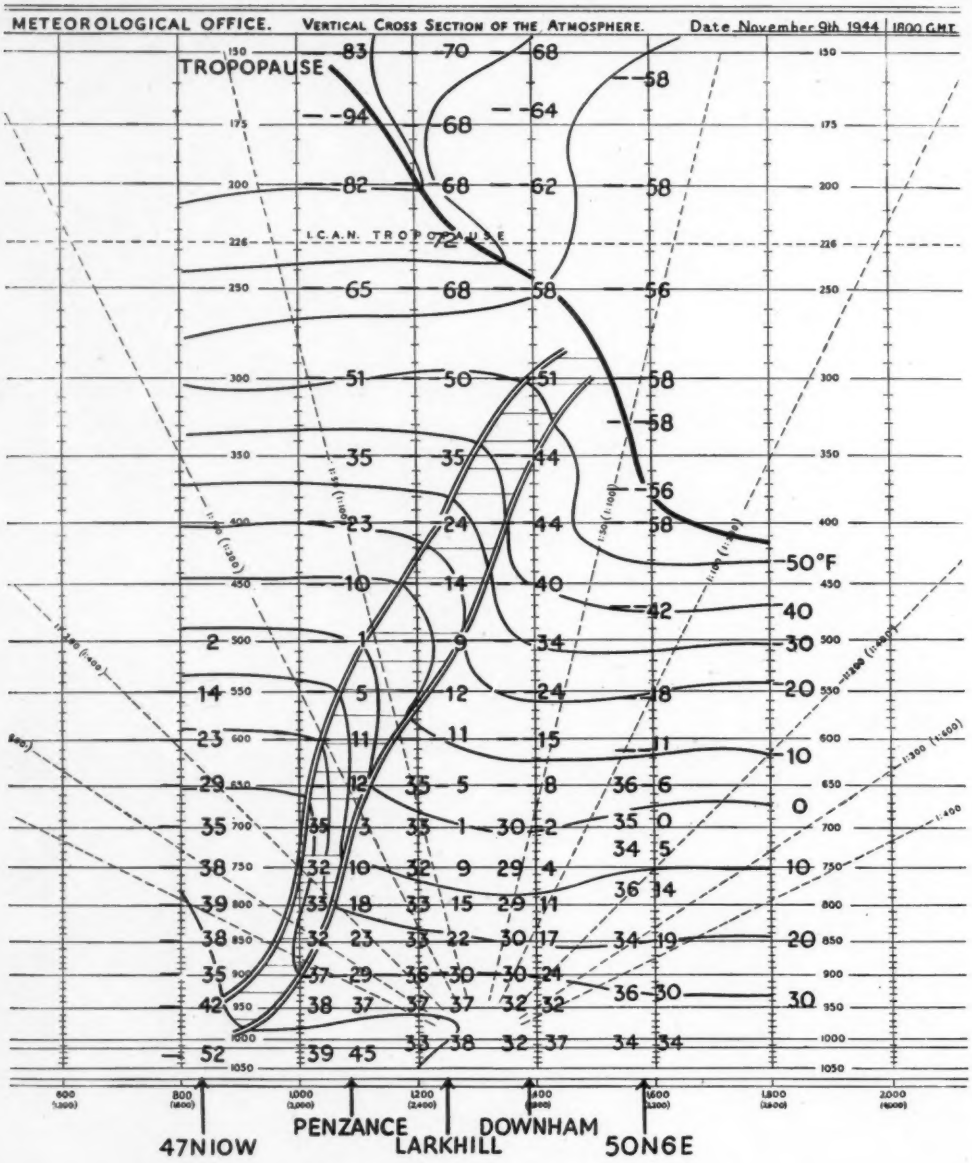


FIGURE 9 – *Coupe verticale de l'atmosphère à* 18 *h le* 9 *novembre* 1944.

un chiffre constant, ce qui indique que le dépôt de givre n'épaissit ni ne diminue. Une petite bobine chauffante autour du godet facilite le contrôle de sa température.

Installé dans un avion cet instrument a donné d'excellents résultats entre les mains de M Brewer, qui a fait de nombreuses ascensions dans la stratosphère. Le résultat le plus important est la découverte du fait que l'air dans la stratosphère est exceptionnellement sec. Jusqu'à la base de la stratosphère l'humidité relative oscille généralement entre 30 et 100%, mais dès que l'on pénètre dans la stratosphère l'humidité diminue rapidement et, à une distance d'environ 2 km

à l'intérieur de celle-ci elle est voisine de 1%.

L'altitude à laquelle commence la stratosphère varie selon les conditions météorologiques. A la latitude des Iles britanniques, l'altitude moyenne est d'environ 11 km, mais elle peut se trouver entre 8 et 16 km. La très faible humidité mentionnée ci-dessus a été observée alors que la base de la stratosphère se trouvait au voisinage de 10 km. On ne sait pas encore si l'humidité est aussi faible lorsque la base de la stratosphère est plus élevée.

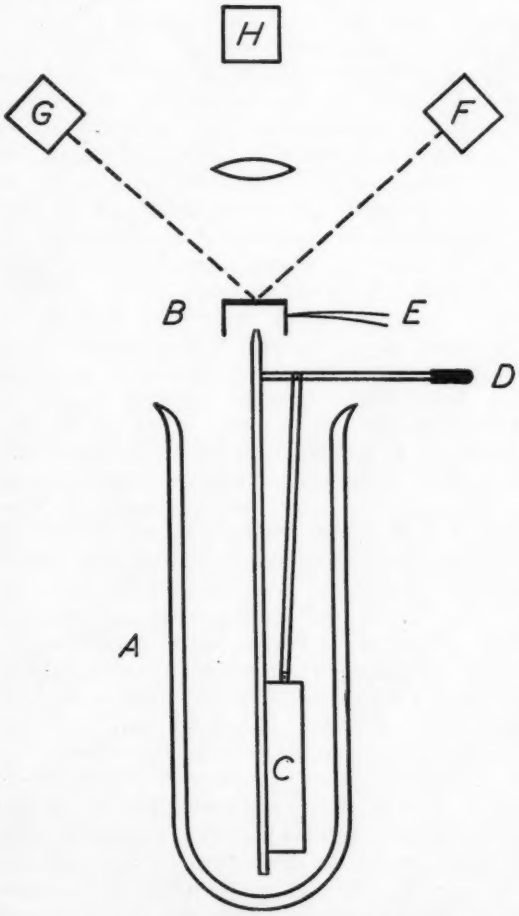


FIGURE 10 – *Hygromètre de Dobson et Brewer.*

A = flacon de Dewar contenant de l'essence refroidie par de la neige carbonique.
B = godet.
C = pompe fonctionnant au moyen du levier D.
E = thermomètre électrique serti dans le godet.
F = source lumineuse.
H = cellule photoélectrique.

Ces données récentes sur l'humidité dans la stratosphère expliquent un phénomène observé au début de la guerre. On avait remarqué que les « traînées de vapeur » qui remplissaient le ciel au moment de la bataille de Grande-Bretagne cessaient de se former dès que l'avion montait dans la stratosphère. Il est plus exact de dire que les traînées de vapeur y étaient courtes et peu visibles au lieu d'être longues et denses comme aux altitudes inférieures. Ces traînées de vapeur sont dues à la condensation de l'eau contenue dans les gaz d'échappement des moteurs de l'avion. Il est maintenant évident que s'il n'y a pas formation dans la stratosphère de ces traînées denses, c'est parce que, étant donnée la très faible humidité de l'air, la traînée s'évapore presqu'aussi vite qu'elle se forme.

Comme on a pu s'en rendre compte, le but des nouvelles techniques d'observation que nous venons de décrire est de fournir des renseignements supplémentaires sur la haute atmosphère.

La valeur principale de l'observation des régions supérieures de l'atmosphère est de permettre de dresser des cartes de ces régions correspondant aux cartes synoptiques bien connues établies pour les régions situées au niveau de la mer. Sur ces dernières on trace des isobares pour ce niveau standard. Mais dans le cas des cartes de la haute atmosphère, on a l'habitude en Grande-Bretagne de tracer des isoplèthes indiquant l'altitude de la région où se rencontre une pression donnée. Les cartes obtenues ont un aspect analogue à celui des cartes synoptiques habituelles, une dépression par exemple y est représentée par une série de courbes fermées concentriques. On dresse une série de cartes pour les pressions de 1.000, 700, 500 et 300 mb. Celles-ci correspondent à peu près aux altitudes, à partir du niveau de la mer, de zéro, 3.350, 5.500 et 9.100 m respectivement.

La carte pour 1.000 mb est d'abord établie d'après les chiffres obtenus au niveau de la mer. On calcule ensuite l'épaisseur des couches successives, 1.000–700 mb, 700–500 mb et 500–300 mb d'après les chiffres de température et d'humidité de la haute atmosphère donnés par les radio-sondes ou les observations en avion. En ajoutant ces épaisseurs successives à la carte de 1.000 mb, on obtient une série de cartes de contour pour chacun des niveaux de pression 700 mb, 500 mb et 300 mb. Toutes les six heures ont procède à des observations de la haute atmosphère et l'on dresse des cartes, on a ainsi une série de cartes montrant les tendances de la température,

de l'épaisseur et de l'altitude des surfaces isobares. La figure 8 représente la carte de 300 mb dressée au moment dont nous avons parlé plus haut où l'on avait enregistré une vitesse du vent de 100 m/sec (*voir* figure 3). Ces cartes de la haute atmosphère permettent de prévoir directement pour les aviateurs la vitesse du vent, les nuages, et les autres conditions atmosphériques dans cette région.

Les données obtenues pour la haute atmosphère servent aussi à établir des coupes verticales de l'atmosphère. La figure 9 représente un graphique de ce genre établi dans les mêmes circonstances que figure 8.

Dans des graphiques de ce type les distances horizontales sont portées en abcisse, la position de chaque poste d'observation est indiquée par son nom ou ses coordonnées géographiques. L'échelle verticale donne l'altitude mais elle est exagérée deux cents fois par rapport à l'échelle horizontale. Au-dessus de chaque poste d'observation sont portées deux colonnes de chiffres. La colonne de droite est celle des températures de l'air observées aux altitudes successives (ou aux niveaux de pression), qui permettent de tracer les isothermes. Ceux-ci sont à peu près horizontaux sur la droite de la figure, mais remontent brusquement en arrivant au « front froid » indiqué par les deux doubles lignes obliques vers la gauche de la figure. Bien que l'on parle généralement d'un « front » comme si c'était une ligne, en fait, la discontinuité n'est pas brusque mais s'étend sur une zone qui peut être large de 150 km.

La colonne de chiffres placée à gauche au-dessus de chaque position d'observation sur la figure 9 donne la « température potentielle au thermomètre à boule mouillée ». C'est là une propriété qui reste constante dans la totalité d'une masse d'air donnée et qui est par conséquent très précieuse pour l'identification et la détermination des limites des masses d'air. On peut noter la constance de la température potentielle au thermomètre à boule mouillée, aussi bien verticalement qu'horizontalement, à droite du front sur la figure 9. L'altitude de la base de la stratosphère (i.e. la tropopause) est indiquée par le gros trait vers le haut du graphique. Le changement rapide d'altitude qui se produit au voisinage du front est remarquable.

Nous avons décrit un peu longuement la figure 9 parce qu'elle constitue un bon exemple de la façon détaillée dont on peut étudier l'atmosphère grâce aux techniques nouvelles d'observation.

Ces deux types de cartes de la haute atmosphère (figures 8 et 9) donnent une image à trois dimensions de la structure de l'atmosphère et des mouvements de masses d'air.

Un exposé des études récentes sur les processus atmosphériques ne saurait être complet sans la mention du travail en cours sur l'équilibre de rayonnement dans l'atmosphère. Beaucoup de faits concernant la haute atmosphère ne peuvent encore être expliqués. On ne sait pas par exemple pourquoi la température dans la stratosphère est plus basse de 50° C au-dessus de l'équateur qu'au-dessus des pôles, ni pourquoi elle varie considérablement avec l'heure. L'état du rayonnement dans la stratosphère est régi en grande partie par des facteurs peu importants tels que la vapeur d'eau, l'ozone et le gaz carbonique et peut-être d'autres gaz polyatomiques. La solution des problèmes dont nous venons de parler nécessite des connaissances sur les gaz constituant la haute atmosphère, la densité de ces gaz à différents niveaux, et leur coefficient d'absorption pour différentes longueurs d'onde. Pour comprendre entièrement le problème il faut également savoir comment ces gaz sont formés et se décomposent. Des investigations de ce genre constituent évidemment un travail de recherches fondamentales à long terme et de nature très complexe, mais la solution de ces problèmes est essentielle à la compréhension rationnelle de l'atmosphère et de son comportement, et l'on est en train de les étudier activement sous la direction de la commission Gassiot de la *Royal Society*.

Dans l'exposé qui précède nous avons discuté trois phases de l'histoire de la météorologie. Pendant la première phase, on a abordé l'étude du sujet à partir d'observations faites en un seul endroit. On réalisa un grand pas en avant lorsqu'il devint possible de réunir des observations faites régulièrement en différents endroits d'une région étendue, et ceci conduisit à la phase 2. La phase 3 est caractérisée par le fait que l'on aborde le sujet dans les trois dimensions. On a récemment mis au point les instruments d'observation nécessaires. Mais la troisième phase commence à peine et il serait imprudent de prédire ce que seront les progrès dans cette direction. D'une part, les problèmes sont évidemment extrêmement difficiles et complexes; d'autre part l'étude à trois dimensions semble offrir des possibilités inconnues jusque là. Le météorologiste entrevoit donc l'avenir avec confiance mais il est pleinement conscient des difficultés qui l'attendent.

Tycho Brahé, 1546–1601

HERBERT DINGLE

L'importance de l'observation précise lorsqu'on émet une théorie est si universellement admise aujourd'hui, qu'on a peine à concevoir qu'il n'en ait pas toujours été ainsi. Tycho Brahé s'en rendit compte et put ainsi accumuler les données essentielles qui permirent à Képler de formuler les lois planétaires. D'autre part, les principes de Tycho Brahé forment la base de la méthode scientifique actuelle, et sa doctrine finit par s'imposer bien au-delà du domaine de l'astronomie où elle avait d'abord été appliquée.

La Renaissance fut une période critique pour de nombreuses branches de la pensée et de la science, et particulièrement pour l'astronomie. Ce fait est plus important qu'il ne paraît à première vue, car l'astronomie était si intimement mêlée à la trame de la pensée du Moyen Age, que sa transformation entraînait une nouvelle conception de la vie et du monde dans son ensemble. Heureusement son évolution à cette époque est facile à suivre et à comprendre, au moins dans ses grandes lignes, car elle fut surtout l'œuvre de quatre hommes. Copernic, qui en modifia essentiellement le point de vue, ne tira guère avantage de l'occasion qu'il avait créée. Il rattacha la conception médiévale au point de vue moderne et imagina les sphères célestes et les cercles déférents et épicycles de Ptolémée enveloppant le soleil au lieu de la terre. Képler montra le premier ce qu'on pouvait tirer de la réforme de Copernic, et ses lois du mouvement planétaire, éliminant en fin de compte les sphères et la rotation en cercles parfaits, portaient en germe la solution de tout le problème de l'astronomie médiévale. Les travaux de Képler eussent, avec quelques mises au point minimes, clos l'étude de l'astronomie, si Galilée, avec sa mécanique céleste et son nouveau « tube optique », n'avait infusé une vie nouvelle à cette science, et ouvert des domaines de recherche illimités qu'on n'a cessé d'explorer à l'heure actuelle. Nous devons à ces trois hommes toute l'astronomie théorique, mais leurs travaux eûssent été incomplets ou impossibles sans les découvertes d'un quatrième. C'est à Tycho Brahé que Képler doit les observations qui lui permirent d'exprimer les vraies lois planétaires dans les termes coperniciens, et c'est loin d'être une dette accidentelle. Les travaux de Tycho impliquaient une conception nouvelle, un changement aussi radical en son genre que celui dû à Copernic; car au seizième siècle, si étrange que cela paraisse aujourd'hui, on ne pensait guère à chercher à connaître les phénomènes aussi exactement que possible avant de les décrire. Tycho était absolument moderne en son temps et presque unique à l'époque en ce qu'il comprenait l'importance de la précision dans les mesures; et Dreyer, son excellent biographe moderne, est d'avis que sa précision, « sans l'invention du télescope, n'aurait guère pu être dépassée par ses successeurs ». Il est certain que sans l'œuvre de Tycho il n'y aurait pas eu de lois de Képler, et peut-être Newton n'eût-il pu formuler sa loi de la gravitation.

Tycho Brahé (ou Tyge Brahe, pour lui donner son nom danois) naquit à Knudstrup le 14 décembre 1546. Il était le deuxième enfant et le fils aîné d'Otto Brahé, conseiller privé et membre d'une vieille famille noble danoise, et de sa femme Beate Bille. Il fut élevé par son oncle, Jörgen Brahé, qui, n'ayant pas d'enfant, était arrivé, autant par force que par persuasion, à s'en faire donner la charge. A 12 ans, après avoir reçu l'enseignement primaire d'un précepteur, il fit sa rhétorique et sa philosophie à l'Université de Copenhague, en vue de devenir homme d'état. Mais, le 21 août 1560, il fut profondément impressionné par une éclipse partielle de soleil, et il pensa que « c'était une chose admirable que les hommes pussent connaître le mouvement des étoiles avec une exactitude telle qu'ils fussent en mesure d'en prévoir la place et les positions relatives longtemps à l'avance ». Il se mit aussitôt à étudier ce sujet, et il acheta un volume des œuvres de Ptolémée qui semble avoir absorbé toute son attention pendant le restant de ses trois années d'études à Copenhague. Cet égarement inquiéta quelque peu son oncle qui, en l'envoyant, selon l'usage, dans une université étrangère (en l'occurrence Leipzig) le fit accompagner d'un jeune précepteur, Anders Vedel (qui acquit plus tard une réputation comme historien, et demeura toujours l'ami de Tycho), chargé de veiller à ce qu'il étudiât ce qui convenait à un

jeune noble. Vedel essaya consciencieusement de remplir sa mission, et au début Tycho dut étudier l'astronomie et les mathématiques tandis que son précepteur dormait; mais ce dernier, après avoir fait quelques remontrances, dut reconnaître que Tycho était fait pour l'astronomie, et pour rien d'autre, et il semble qu'un accord tacite se soit établi. Il n'avait que 16 ans « lorsque ses yeux s'ouvrirent à ce fait important, qui nous paraît si facile à saisir, mais qui avait échappé à l'attention de tous les astronomes européens auparavant: que ce n'est qu'en procédant à une série d'observations suivies que l'on pourrait obtenir une idée plus exacte du mouvement des planètes et décider quel était le vrai système universel». Sa première observation, faite le 17 août 1563, à l'aide d'un compas ordinaire, fut celle d'une conjonction prochaine de Jupiter et de Saturne; mais il s'occupa bientôt d'obtenir un meilleur instrument. Ceci ne le satisfaisait pas, mais comme il n'arrivait pas à obtenir de Vedel de l'argent pour acheter un instrument plus perfectionné, il établit une table de corrections pour ses mesures, marquant ainsi une étape dans l'histoire de l'observation.

Peu après son retour au Danemark il perdit son oncle, et comme sa famille voyait d'un mauvais œil ses activités étranges, il partit bientôt pour Wittemberg. Cependant, ses recherches astronomiques n'étaient pas désapprouvées au Danemark et, le 14 mai 1568, le roi Frédéric II lui accorda le premier canonicat vacant, une sinécure qui lui permettrait de continuer l'astronomie dans son pays natal. Il n'y revint néanmoins qu'après plus de deux ans au cours desquels il construisit, avec ses amis Hainzel d'Augsbourg, un quadrant d'un rayon de 14 coudées (5,70 m env.), un sextant, et un globe céleste de 1,50 m de diamètre. Mais, pour une raison quelconque il ne poursuivit pas ces travaux dès son retour au Danemark; il se mit par contre à l'alchimie jusqu'au 17 novembre 1572 lorsque, quittant son laboratoire, il remarqua une étoile extrêmement brillante dans Cassiopée, alors qu'il savait bien qu'aucune n'y était prévue. Doutant de ce qu'il voyait, il fit appel à des paysans des environs pour en être sûr et, quand il fut convaincu de la présence de l'étoile, il se mit en devoir de déterminer sa position. A partir de ce moment, Tycho ne se laissa plus détourner de l'astronomie. Il construisit des instruments, inventa des dispositifs pour les rendre indéréglables, détermina les erreurs d'appréciation, et indiqua les limites de précision des résultats, établissant ainsi une méthode d'observation unique pour son temps. Elle était importante, en l'occurrence, car Tycho établit de façon indubitable que la parallaxe de l'étoile était trop courte pour qu'elle fût aussi proche que les planètes et qu'elle devait donc appartenir à la sphère stellaire dont l'immuabilité était un des principes fondamentaux de l'astronomie depuis son origine. Seules, des observations dont le degré d'exactitude était élevé et connu pouvaient prouver ce fait important de façon indéniable. Plus tard, en 1577, lors de l'apparition d'une comète, il fut à même de prouver par des mesures précises qu'elle avait dû traverser la substance de ces sphères, si elles existaient, réduisant ainsi à néant une autre ancienne illusion.

Après avoir terminé son travail sur la nouvelle étoile, Tycho fit de grands voyages en Europe centrale; il gagna surtout la sympathie du landgrave Wilhelm de Cassel, un astronome d'une certaine valeur. C'est grâce à lui que le roi Frédéric put pleinement apprécier le sujet remarquable qu'il avait en Tycho et, tandis que celui-ci, lors d'une courte visite à son pays natal en 1576, projetait de s'installer définitivement à Bâle, le Roi lui fit une offre si magnifique qu'il modifia ses plans et décida de rester. La partie principale du don était l'île de Hveen, « avec tous les tenanciers et serviteurs, à Nous et à la Couronne, qui y vivent, avec toute redevance et taxe en provenant, due à Nous et à la Couronne, pour la posséder, en jouir, s'en servir et la conserver, quittement et librement, et sans loyer, pour sa vie entière». Il s'y ajoutait des sommes d'argent pour la construction d'un observatoire, et diverses sources de revenu n'impliquant que des prestations à peu près nominales. La proposition était trop belle pour que Tycho la refusât et, fin mai, il se mit à construire l'observatoire qui devait être sa demeure pendant plus de vingt ans et où il réalisa la plus grande partie de son œuvre.

Le bâtiment principal, appelé Uranieborg, était presque au centre de l'île. Ce fut d'abord le seul bâtiment consacré à l'astronomie mais, en 1584, on édifia dans le sud un second observatoire appelé Stierneborg. De toute l'Europe, des astronomes se rendirent dans l'île pour travailler avec Tycho et les travaux qu'ils y accomplirent forment la base de l'astronomie moderne. Les innovations de Tycho sont les suivantes: d'abord, les grandes dimensions de ses instruments; ensuite, son procédé perfectionné de graduation: il fut le premier astronome à se servir de la méthode des *transversales*, dans laquelle les graduations

FIGURE 1 – *Tycho Brahé, d'après un portrait à l'Observatoire Royal d'Edimbourg.*

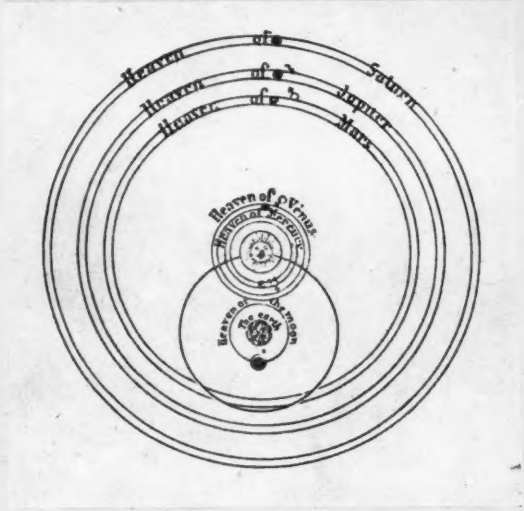


FIGURE 2 – *Le système astronomique de Tycho Brahé. La terre était immobile et la lune et le soleil tournaient autour d'elle. Les autres planètes tournaient autour du soleil et, par conséquent, avec lui, autour de la terre.*

Illustrations de Tycho Brahe, *par J. L. E. Dreyer, publié par A. & C. Black Ltd.*

principales étaient faites alternativement sur chacun des arcs d'une paire d'arcs parallèles, les notations successives étant reliées par des diagonales de façon à former un dessin en zig-zag (voir, par exemple, figure 4); en troisième lieu, la grande amélioration qu'il apporta à la construction et à la disposition de ses « viseurs »; et finalement, son habitude de déterminer aussi exactement que possible les erreurs de ses instruments. En dehors de la destruction déjà citée de plusieurs théories anciennes (notons aussi qu'il réfuta définitivement la vieille croyance erronée dans la *trépidation* des étoiles), ses travaux les plus remarquables comportent des observations bien plus précises de la position des corps célestes que toutes celles qui avaient été faites auparavant, la première observation de l'effet de la réfraction de l'atmosphère sur les positions apparentes, et la découverte des troisième et quatrième inégalités (la *variation* et l'*équation annuelle*) dans la rotation de la lune, et aussi la fluctuation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la lune sur l'écliptique. Tycho différait de tous ses prédécesseurs en ce qu'il procédait à ses observations de façon systématique. Contrairement à la coutume d'observer de temps à autre la position des planètes, habituellement près des époques d'opposition, Tycho les observait régulièrement et méthodiquement avant et après l'opposition. C'est cette observation systématique avec ses qualités de soin et de précision, qui a permis à Képler de formuler ses trois lois du mouvement des planètes et jeter ainsi les bases de la mécanique céleste. Ces lois n'auraient amais pu se déduire d'un petit nombre d'observations faites à l'approche de l'opposition.

Tycho se souciait généralement moins d'interpréter ses observations que de les faire; c'est à Képler qu'il fut donné de montrer quelle richesse de connaissances elles contenaient. Par contre, il ne resta nullement indifférent au grand problème de son époque — le choix entre le système universel de Ptolémée et celui de Copernic — et il se peut qu'il ait attaché plus de valeur à sa propre solution de ce problème qu'à tous ses autres travaux. Sa théorie était un compromis plutôt bizarre des deux autres: les planètes tournaient autour du soleil selon les idées de Copernic mais le système tout entier ainsi formé tournait autour

FIGURE 3 – *Uranieborg vu de l'est. La distance N.–S. est d'environ 33 m et la hauteur maxima de 20 m.*

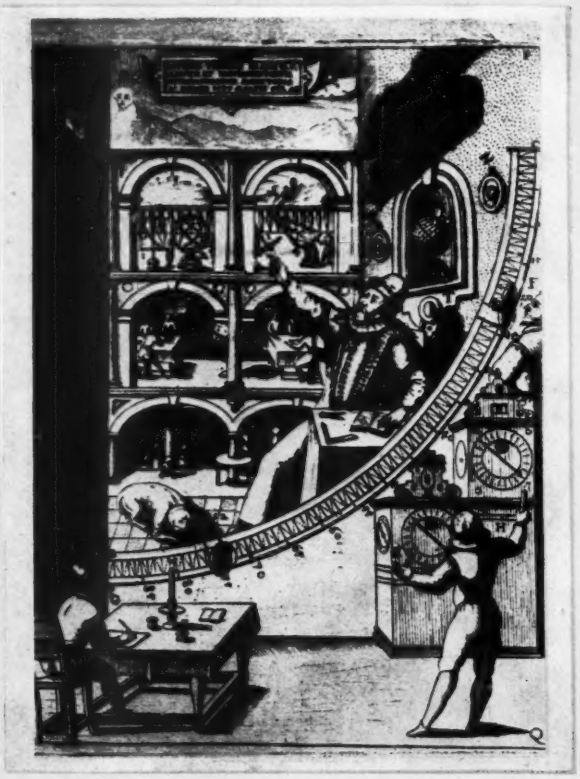


FIGURE 4 – *Le grand quadrant mural d'Uranieborg. Cet instrument consistait en un arc en laiton de 2 m de rayon, divisé par des transversales et vissé à un mur sur lequel étaient peints un portrait de Tycho et quelques-unes des merveilles d'Uranieborg.*

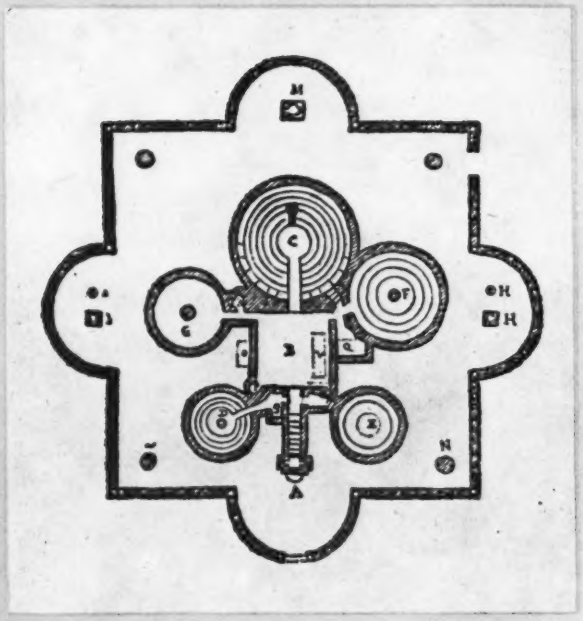


FIGURE 5 – *Plan de Stierneborg. C, D, E, F et G sont des chambres souterraines dont les toits seuls dépassaient le sol, afin de protéger les instruments contre le vent. O et Q sont les chambres à coucher de Tycho et de son assistant, et S un passage souterrain inachevé, en direction d'Uranieborg.*

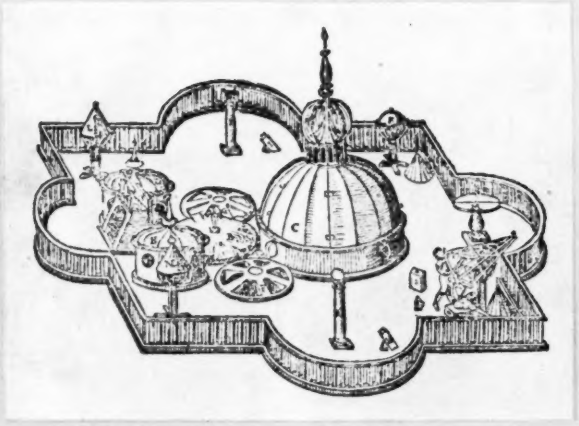


FIGURE 6 – *Stierneborg vu de l'ouest. Cette figure, ainsi que la 3e et la 5e, sont tirées du livre de Tycho,* Astronomiae Instauratae Mechanica (1598).

de la terre immobile. En ce qui concerne le système solaire, cela revient mathématiquement à la conception de Copernic sans pouvoir expliquer l'aberration de la lumière et la parallaxe annuelle des étoiles. Il est vrai que Tycho ignorait ces phénomènes et que, par conséquent, il pensait avoir résolu le problème central de l'astronomie; et de fait, la dernière chose qu'il demanda à Képler fut d'interpréter les observations d'après son propre système et non pas d'après celui de Copernic.

La grande œuvre d'Uranieborg s'acheva tristement en 1597. A la mort du roi Frédéric, en 1588, son fils Christian, âgé de 11 ans à peine, subit fortement l'influence de certains nobles dont plusieurs détestaient Tycho. Cette circonstance — favorisée, admettons-le, par la conduite plutôt arbitraire de Tycho — amena des querelles qui s'envenimèrent au point de rendre la situation à Hveen finalement intenable. En mars ou en avril 1597, Tycho quittait définitivement son observatoire historique. Les instruments furent démontés peu à peu et quelques-uns lui furent envoyés en Bohême mais ils avaient fait leur œuvre. Ils furent gardés après sa mort, et avec un soin trop jaloux, par Curtius, qui ne permettait même pas à Képler de s'en servir; en fin de compte, les guerres et les incendies les détruisirent. Quant à Uranieborg, il en reste à peine la trace. Lorsque Gassendi visita Hveen en 1647 pour rechercher des souvenirs de Tycho, sa récolte se résuma en une simple phrase: « Il y a dans l'île un champ où se trouvait Uranieborg ».

Après avoir quitté Hveen, Tycho erra quelque peu, puis rechercha et obtint la protection de l'empereur Rodolphe qui lui accorda le château de Benatky, sur l'Yser, à environ 35 km au nord-est de Prague, et c'est là qu'il reprit ses observations avec matériel réduit. Il ne lui restait guère de temps, cependant, et le travail en Bohême est surtout important par la collaboration de Tycho et de Képler qui a donné des résultats si remarquables. La santé de Tycho déclina et il mourut le 24 octobre 1601.

Au point de vue personnel, Tycho n'était ni sympathique ni absolument admirable. Il était arrogant et n'exécuta pas les obligations extrêmement légères qui accompagnaient les privilèges dus à la générosité du Roi. Il n'y a aucun doute, par contre, sur son dévouement entièrement désintéressé à l'astronomie, et l'on doit noter à son crédit que c'est lui qui ressort sous le jour le plus favorable d'une querelle malheureuse avec Képler. De plus, pendant son séjour à Hveen, il avait coutume de distribuer des médicaments qu'il préparait lui-même et dans lesquels il avait une confiance extrême car, toute sa vie, il avait eu la passion de l'alchimie. Tycho affectionnait le mystère et le faste; son observatoire d'Uranieborg fourmillait de truquages mécaniques et de moyens de communication invisibles grâce auquels il s'amusait à mystifier ses visiteurs. Il écrivait des vers passables dont certains, ainsi que des peintures, ornaient les murs de son laboratoire. Le plafond et les murs de son cabinet de travail à Stierneborg étaient des exemples typiques du genre de décoration: on y voyait le système universel tychonique et les portraits de huit astronomes dont les deux derniers étaient Tycho et « Tychonides », un successeur encore à naître. Dans les légendes de ces images, Tycho laisse à la postérité le soin de juger son œuvre, mais il exprime l'espoir que Tychonides se montrera digne de son grand ancêtre. Tycho croyait fermement à l'astrologie et en a donné peut-être la défense la plus rationnelle qui soit. Cela n'a rien d'étrange car l'astrologie était alors une branche d'études universitaires respectable et, seuls, des hommes exceptionnels comme Copernic semblent l'avoir méconnue; l'incrédulité avouée était presque impossible. En bref, Tycho était le produit typique de la Renaissance, un de ces mélanges curieux du Moyen Age et de l'époque moderne qui nous déconcertent tant aujourd'hui.

La mesure des sources lumineuses colorées

JOHN W. T. WALSH

On peut comparer avec une haute précision les intensités lumineuses de deux sources de même couleur, mais des raisons expérimentales ou commerciales nécessitent souvent la comparaison de sources dont la couleur diffère considérablement. Le problème devient alors beaucoup plus difficile, en raison de la différence de réaction des observateurs, surtout en lumière faible. On a examiné dans cet article la précision et les limites d'application des méthodes modernes de photométrie hétérochrome.

Une mesure lumineuse s'effectue d'habitude avec un photomètre où l'on compare deux surfaces blanches éclairées; l'observateur ajuste l'éclairement de l'une d'elles, ou des deux, jusqu'à ce qu'il estime qu'elles ont la même brillance. Toute différence notable de couleur entre les sources qui éclairent les deux surfaces rend cette estimation plus difficile et incertaine; pourtant, l'observateur peut toujours s'arranger pour que la surface *A* soit indubitablement plus brillante que la surface *B*, puis pour que *B* soit certainement plus brillante que *A*. Le but des méthodes de photométrie hétérochrome est de réduire autant que possible l'intervalle entre ces deux positions. Cet intervalle ne dépasse pas deux ou trois millièmes de l'intensité mesurée quand il n'y a pas de différence de couleur, ce qui nous donne une indication du but à atteindre.

Malheureusement, en plus de l'incertitude dans le jugement d'un observateur déterminé, due à la différence de couleur, on observe un écart considérable des résultats obtenus par des observateurs différents. Ceci tient aux divergences dont on a reconnu l'existence entre les réactions à la couleur d'individus même doués de vue normale. C'est ainsi qu'un observateur à vue normale jugera que les deux surfaces colorées de la figure 1 ont même brillance, alors que, pour un autre, il faudra peut-être accroître la brillance de l'une d'elle, de 30%, avant qu'il les estime égales.

Pour rendre cohérentes les mesures de sources lumineuses colorées, on a fait des conventions internationales: les méthodes de photométrie hétérochrome devront non seulement réduire l'incertitude de la mesure, mais aussi la rendre conforme aux résultats d'un observateur ayant une certaine réaction « moyenne » déterminée à la couleur.

PHOTOMÈTRE À PAPILLOTAGE

Pour une différence de couleur notable, on emploie fréquemment une méthode de comparaison complètement différente. Les deux surfaces se succèdent rapidement sous l'œil de l'observateur, si bien qu'il voit d'abord l'une, puis l'autre, et si la vitesse s'accroît, le champs a un aspect papillotant. Le papillotage diminue, puis disparaît complètement quand on accroît la fréquence de succession des surfaces. L'observateur peut agir sur cette fréquence, et il doit ajuster l'éclairement des surfaces de façon que le papillotage disparaisse juste pour une fréquence aussi faible que possible. Si les deux sources sont de même couleur, le papillotage disparaît pour une fréquence relativement basse, c'est-à-dire, de dix à quinze alternances par seconde. Mais une différence de couleur provoque un papillotage perceptible à cette fréquence, et à des fréquences bien plus élevées, selon l'étendue et la nature de la différence. On détermine par tâtonnements le minimum pour la différence particulière envisagée, et l'on fait les observations avec le photomètre fonctionnant à cette fréquence ou à une fréquence très légèrement supérieure.

On a trouvé qu'avec cette forme de photomètre, les résultats d'observateurs différents étaient relativement précis et cohérents, pourvu que fussent remplies certaines conditions concernant les dimensions et la brillance du champs, et la présence d'un fond stable de brillance assez voisine. Cependant, même dans les meilleures conditions, des observateurs différents n'obtiennent pas tout-à-fait les mêmes résultats quand la différence de couleur est grande, et il faut alors choisir des observateurs dont la réaction à la couleur soit voisine de celle de l'observateur « standard » choisi. Pour cela, chaque observateur possible fait une mesure avec deux sources présentant une certaine différence de couleur bien déterminée. On les obtient en se servant de deux liquides, l'un jaune et l'autre bleu, de composition et d'épaisseur déterminées. On voit sur la figure 5 le double bac

FIGURE 1 – *Même un observateur à vision normale des couleurs ne peut mesurer la brillance relative de ces deux surfaces colorées qu'avec une grande incertitude.*

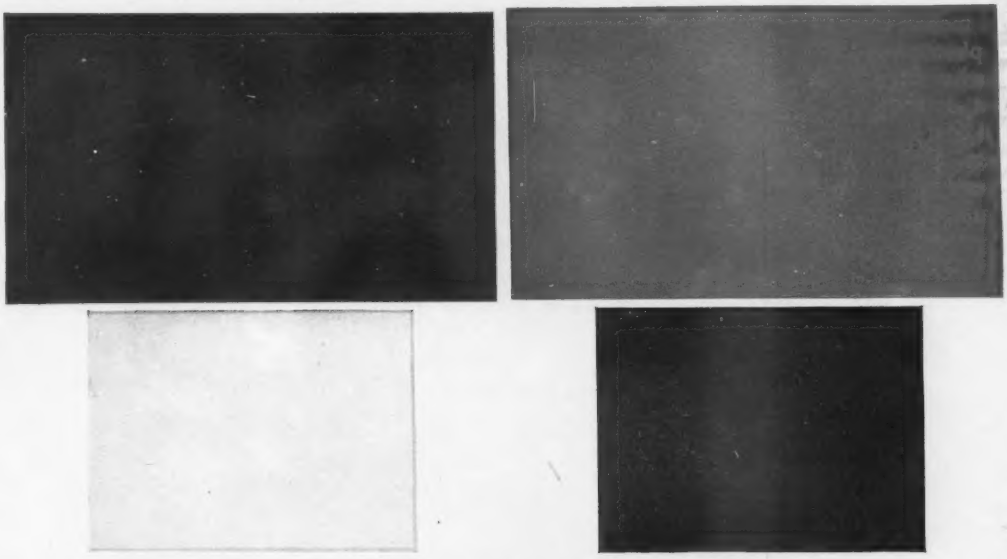


FIGURE 2 – *Les taches grises montrent les brillances relatives sous un éclairement très faible de deux lumières, l'une verte et l'autre rouge, qui paraissent égales sous un éclairement normal.*

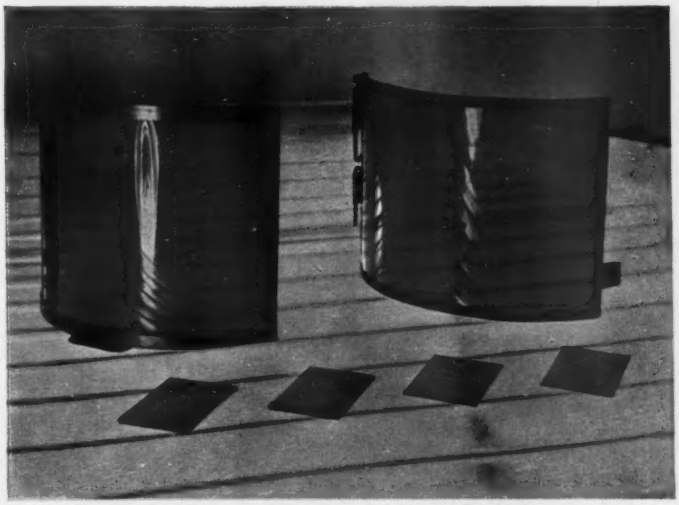


FIGURE 3 – *Plaques colorées employées pour les feux de navigation des bateaux, et verres-limites servant à les essayer.*

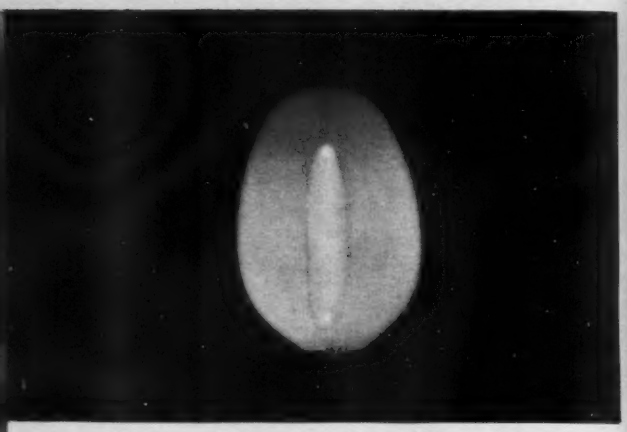


FIGURE 4*a* (*en haut, à gauche*) – *Lampe à fluorescence au mercure à haute pression, et objets colorés éclairés par cette lampe.*

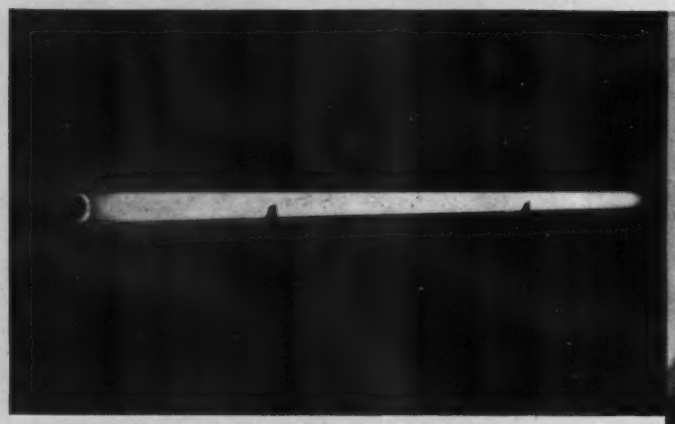
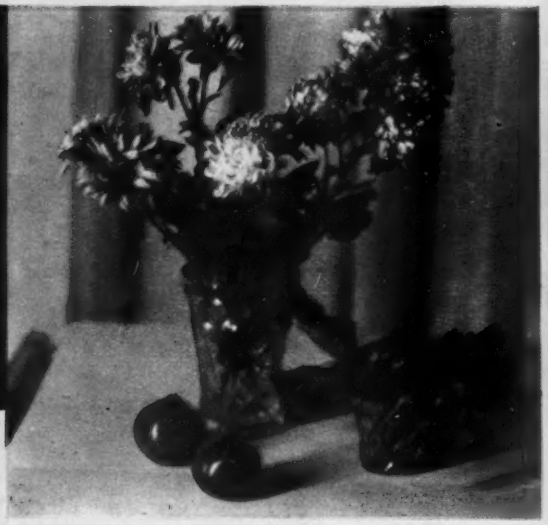


FIGURE 4*c* (*en haut, à droite*) – *Lampe tubulaire à fluorescence donnant la lumière du jour. Les mêmes objets à sa lumière.*



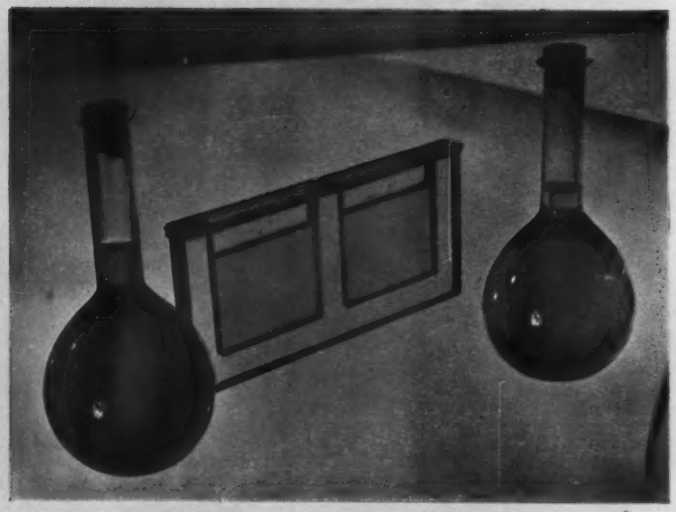


FIGURE 5 – *Solutions bleues et jaunes employées pour déterminer l'aptitude d'un observateur aux mesures en lumière colorée.*

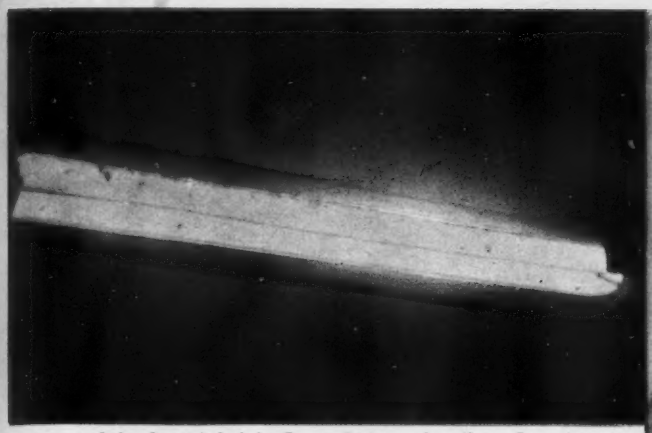


FIGURE 4*b* (*en haut, à droite*) – *Lampe à vapeur de sodium. Les mêmes objets à sa lumière.*

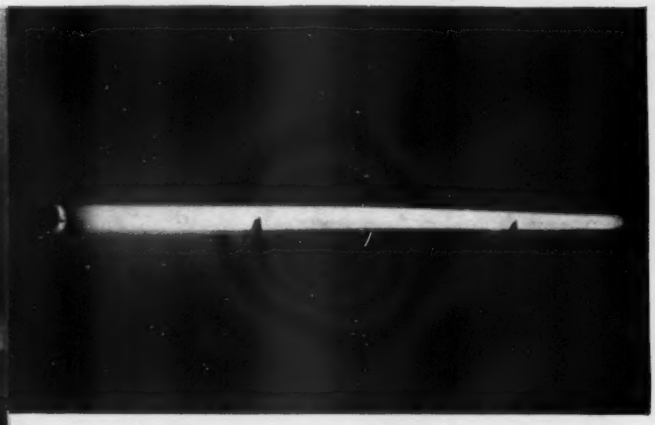


FIGURE 4*d* (*en haut, à gauche*) – *Lampe tubulaire à fluorescence donnant un blanc chaud. Les mêmes objets à sa lumière.*

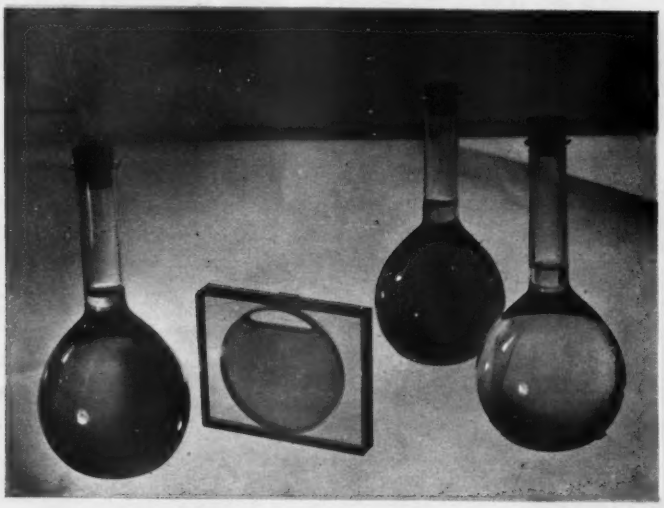


FIGURE 6 – *Filtre de couleurs à liquide (et ses solutions composantes) employé avec une cellule photo-électrique redresseuse, pour obtenir une réaction à la couleur analogue à celle de d'œil moyen.*

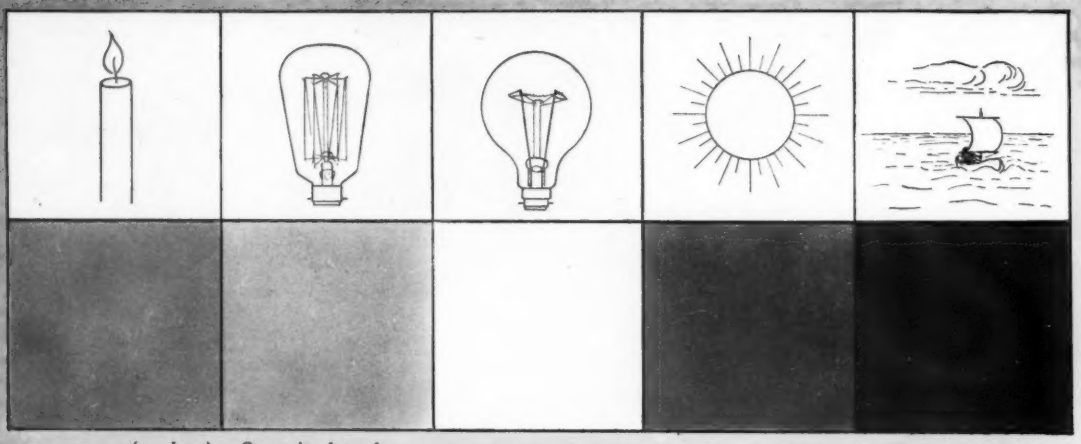


FIGURE 7 (*en haut*) – *On voit dans les carrés la lumière donnée par divers éclairages familiers, comme une bougie, une lampe à vide à filament de tungstène, une lampe remplie de gaz, le soleil, un ciel bleu.* (*Les carrés doivent être regardés à la lumière d'une lampe remplie de gaz.*)

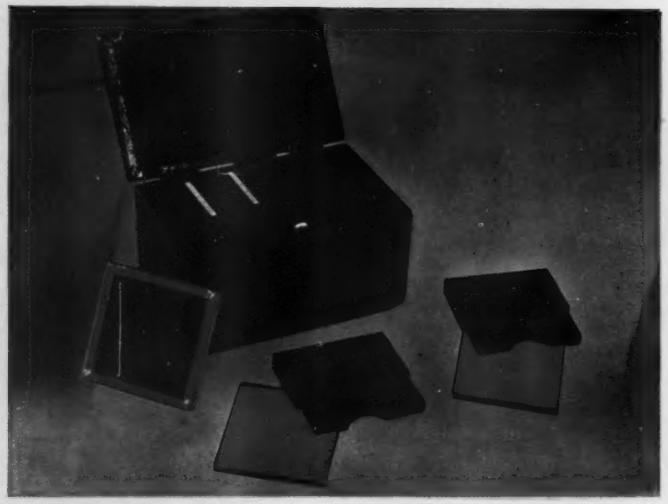


FIGURE 8 (*à droite*) – *Filtres de couleurs, employés pour l'étude de sources de différentes couleurs.*

FIGURE 9 (*à gauche*) – *Cellules photo-électriques employées en photométrie. A gauche, cellule photo-émissive; à droite, cellule photo-voltaïque ou redresseuse.*

de verre contenant les deux solutions. L'observateur idéal, employant un photomètre à papillotage, trouvera que ces solutions transmettent la même fraction de l'intensité lumineuse fournie par une lampe sous-alimentée pour être égale à une lampe à filament de carbone. Tout observateur dont les résultats ne s'écartent pas de plus de 5% environ de cette condition peut être considéré comme ayant une réaction à la couleur satisfaisante pour des mesures hétérochromes usuelles.

FILTRES CORRIGEANT LA COULEUR

Au lieu d'employer un photomètre à papillotage, il est parfois préférable d'éliminer la différence de couleur complètement ou en grande partie par l'interposition d'un verre coloré ou d'une solution liquide sur le trajet d'un des faisceaux provenant des sources à comparer. Bien entendu, il faut connaître la fraction de la lumière qui traverse le milieu coloré. On la calcule généralement à partir d'une courbe qui donne la fraction transmise pour chaque longueur d'onde du spectre visible.

On emploie cette méthode dans la photométrie des lampes à filament de tungstène, ou d'autres sources lumineuses où la lumière est produite par le chauffage à l'incandescence d'un solide, comme le carbone ou un filament métallique. On peut l'employer aussi à la mesure de la lumière du jour ou de la lumière du soleil. La figure 7, regardée à la lumière d'une lampe au tungstène ordinaire remplie de gaz, montre approximativement la couleur de la lumière émise par de telles sources.

Les filtres correcteurs sont naturellement de couleur similaire, et on voit sur la figure 8 des spécimens de filtres effectivement employés.

LAMPES À DÉCHARGE DANS LES GAZ ET LAMPES À FLUORESCENCE

C'est l'introduction récente des lampes à décharge dans les gaz, où la lumière est produite par le passage de la décharge électrique dans la vapeur de mercure ou de sodium qui a ramené au premier plan la difficulté de la mesure quand on a affaire à une lumière de couleur très marquée. On voit des lampes caractéristiques de ce modèle sur la figure 4*a*, *b*. Un développement encore plus récent est la lampe à fluorescence où la couleur de la lumière de la décharge dans le mercure est modifiée par un revêtement de poudre fluorescente sur les parois du tube à décharge. Deux lampes de ce type sont d'un usage courant. Dans l'une, la lumière émise se rapproche de celle du jour; dans l'autre, c'est un blanc « chaud ».

On voit sur la figure 4 la couleur de la lumière donnée par ces quatre types de lampes. Chacune des quatre paires d'images montre, juxtaposés (*a*) une des lampes mentionnées et (*b*) l'aspect d'un groupe de fleurs, etc., à la lumière d'une lampe de ce type. On mesure l'intensité d'une telle lampe, soit par le photomètre à papillotage, soit en se servant d'un filtre coloré fabriqué spécialement: placé devant une lampe à filament de tungstène, il laisse passer une lumière analogue à celle de la lampe colorée.

PHOTOMÉTRIE PHYSIQUE

Dans bien des types de mesures photométriques, une cellule photo-électrique peut remplacer l'œil. Il y a deux types de cellules. On voit un spécimen de chacune sur la figure 9. Il y a sur la gauche une cellule du type photo-émissif, où la lumière à mesurer tombe sur une surface métallique sensible contenue dans une ampoule de verre vide ou remplie d'un gaz à basse pression. La lampe contient aussi une grille métallique, reliée au pôle positif d'une batterie, la surface sensible étant reliée au pôle négatif. La différence de potentiel entre la grille et la surface sensible est de l'ordre de 50 volts. Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur la cellule, le circuit est traversé par un faible courant, dû à l'émission d'électrons par la plaque sensible sous l'influence de la lumière qu'elle reçoit. Dans des conditions de fonctionnement soigneusement contrôlées, ce courant est proportionnel à l'intensité lumineuse qui tombe sur la surface sensible, si bien que ce dispositif peut servir à mesurer une intensité lumineuse.

L'autre type de cellule photo-électrique, que l'on voit à droite sur la figure 9, s'appuie sur un principe tout différent; on l'appelle « cellule photo-voltaïque » ou quelquefois « redresseur ». Elle est formée d'une plaque de fer, recouverte par une couche de matière semi-conductrice (généralement, du sélénium); celle-ci est recouverte à son tour par une couche extrêmement fine d'un métal comme l'or ou le platine. Si la lumière tombe sur cette couche, une partie atteint le sélénium, et si la couche extérieure et la plaque de fer sont connectées à un instrument de mesure électrique sensible, on voit un courant très faible traverser le circuit. Là encore, dans des conditions convenables, ce courant est proportionnel à l'intensité lumineuse tombant sur la cellule. Ce type de cellule a l'avantage d'être portatif et de se passer d'une batterie auxiliaire.

Comme on pouvait s'y attendre, aucune cellule ne réagit à la couleur de la même façon que l'œil standard « moyen », et ceci, qui n'a aucune importance dans la comparaison des sources de même couleur, introduit naturellement de grandes erreurs dans la mesure des sources colorées. On surmonte là encore la difficulté par l'emploi de filtres colorés. Dans ce cas, on demandera au filtre, d'une façon générale, de bien transmettre une couleur à laquelle la cellule est moins sensible que l'œil, et de mal transmettre une couleur à laquelle la cellule est trop sensible. Bien que chaque cellule réagisse à la couleur d'une façon différente, les variations sont cependant assez faibles à l'intérieur d'un même type et il peut y avoir un filtre correcteur typique comme celui de la figure 6. Le liquide dans le filtre terminal est verdâtre, et s'obtient à partir des trois composants montrés séparément dans les trois ballons.

MESURES EN LUMIÈRE FAIBLE

La réaction à la couleur de l'œil reste constante tant que la brillance observée ne descend pas au-dessous de celle d'une salle bien éclairée. Toutefois, pour des brillances beaucoup plus faibles, la sensibilité de l'œil au vert et au bleu, comparée à la sensibilité au rouge, est relativement beaucoup plus grande que pour des brillances normales.

La figure 2 illustre l'ordre de grandeur de cet effet. Pour quiconque a une vision normale, les taches rouges et bleues paraissent avoir approximativement la même brillance à la lumière du jour. Mais sous un éclairement très faible, leur brillance relative paraîtra plus ou moins analogue à celle des deux taches grises figurées au-dessous. Un autre exemple nous en est donné par l'aspect d'une chaussée, la nuit, éclairée seulement par les lumières indiquant la circulation. Ces lumières ont à peu près la même intensité, cependant la chaussée apparaît bien plus brillante sous la lumière verte que sous la lumière rouge.

PROBLÈMES PARTICULIERS

Comme exemple d'un autre type de mesure où l'on a affaire à de grandes différences de couleur, on peut mentionner le contrôle des plaques en verre coloré utilisées pour les feux de navigation des bateaux. On voit deux de ces plaques sur la figure 3. Il faut que ces verres ne soient ni trop opaques ni trop transparents, et le contrôle consiste à les comparer à des paires de verres « limites »; dans chaque paire, l'un des verres donne la plus haute transmission permise, l'autre, la plus basse. On voit aussi sur la figure les verres-limites employés pour le contrôle.

Un autre exemple est la mesure de la brillance des figures lumineuses sur les cadrans des instruments d'avion. Certaines sont faites avec un produit radioactif luminescent, analogue à celui employé pour la montre lumineuse ordinaire, et la couleur est bleu-vert. D'autres ne sont pas lumineuses dans l'obscurité, mais sous l'effet d'une lumière ultra-violette, brillent avec une couleur rouge orangé. La brillance se mesure en comparant le cadran à l'essai avec un stencil de même modèle, placé en avant d'une plaque de verre opaque, ou d'un autre produit translucide. Celle-ci est éclairée par derrière par une lampe, dont l'observateur peut faire varier à volonté l'intensité lumineuse. Un filtre placé en avant de la lampe rend sa couleur analogue à celle du cadran, et l'intensité de la lampe est ajustée jusqu'à ce que le cadran et le stencil semblent de même brillance. On enlève alors le stencil, et on mesure la brillance de la fenêtre transparente avec un photomètre convenable. On peut éliminer l'effet du filtre de deux façons. On mesure la brillance de la fenêtre transparente sans le filtre, les résultats étant alors multipliés par le facteur de transmission du filtre, ou bien l'on met dans le photomètre un second filtre, si bien qu'il n'y a pas de différence de couleur quand on fait la mesure de brillance. Dans ce cas, on tient compte du facteur de transmission du filtre dans le calibrage du photomètre. Une complication apparaît souvent dans ce problème particulier de photométrie hétérochrome, du fait que les brillances employées se trouvent dans la région où l'on doit tenir compte des phénomènes visuels mentionnés dans la partie précédente.

L'auteur désire exprimer ses remerciements à ses collègues, à M J. S. Preston, et à M E. B. Sawyer, Directeur du *E.L.M.A. Lighting Service Bureau*, pour leur coopération à l'illustration de cet article.

Le rôle des musées dans la vulgarisation scientifique

F. S. WALLIS

La valeur des musées aux points de vue éducatif et culturel est souvent sous-estimée parce que l'on oublie que les musées d'aujourd'hui sont très différents de ce qu'ils étaient il y a seulement quelques années. Le Dr Wallis décrit ici les différents types de travaux scientifiques actuellement en cours dans les musées et formule pour leur développement ultérieur un certain nombre de suggestions constructives. Il est lui-même directeur du musée d'une grande ville et réalise que les musées sont encore inférieurs à leur tâche, mais son opinion sur leurs possibilités futures est encourageante.

Le terme de « musée » a pendant bien des années évoqué la vision de longues rangées de spécimens poussiéreux classés avec un soin méticuleux mais dépourvus d'âme. Il est donc difficile pour beaucoup de gens de réaliser à quel point tout ceci a changé et combien les musées actuels sont différents de ceux qu'ils ont visités dans leur enfance. Le nom est resté le même, mais les idées et les buts des conservateurs actuels sont loin d'être ceux de leurs prédécesseurs d'il y a seulement quinze ou vingt ans.

Les musées ont été à l'origine l'expression systématique et publique de la tendance inhérente à l'homme de collectionner et de conserver. Comme on pouvait le deviner il fut attiré tout d'abord par les objets ayant un intérêt ethnologique ou concernant l'histoire naturelle, et il en est résulté l'accumulation de vastes collections encombrantes de ces objets. Ceux qui en étaient chargés s'occupaient avant tout de l'acquisition et de la conservation du matériel qui leur était confié, et de son classement systématique. Cette dernière fonction était remplie scientifiquement d'après les méthodes de classification les plus récentes. Il en est résulté des rangées compactes d'objets, et comme on ne faisait aucun effort pour en rendre l'exposition attrayante on ne peut guère s'étonner de ce que les musées aient manqué d'inspiration et de vie. Ils intéressaient peu le grand public auquel ils étaient destinés en fin de compte, et de ce fait manquaient d'argent et de personnel compétent. Malgré ces facteurs défavorables, les musées ont donné d'importants résultats, car leur tâche principale était de réunir, de décrire et d'exposer les richesses du monde. Le système Linnéen a servi de base à ce prodigieux inventaire pour tout ce qui concernait l'histoire naturelle, et l'on utilisa diverses autres méthodes de classification en anthropologie et en archéologie. La masse de littérature descriptive qui en a résulté montre que le travail a été bien fait, la plus grande partie de ces publications a été compilée, directement ou indirectement par des conservateurs de musées.

Les musées sont destinés à *toutes* les catégories de publics qui les visitent pour divers raisons. D'abord viennent ceux qui entrent pour échapper à une averse, et il est nécessaire de leur offrir une exposition attrayante même pour une visite aussi courte; viennent ensuite des profanes intelligents et intéressés; les membres de sociétés savantes locales qui cherchent à approfondir leurs connaissances spécialisées; et enfin, ceux qui ont les aptitudes et le désir d'entreprendre des recherches dans leurs domaines particuliers, bien définis. Il faut toujours penser à ces trois types d'individus lorsque l'on examine la question des rapports entre la science et les musées.

Ceux qui sont responsables de la ligne de conduite actuellement suivie dans les musées sont de plus en plus conscients que ceux-ci doivent présenter en outre de leurs fonctions de collection et de conservation un moyen d'instruction agréable. On doit mettre le matériel à la portée du public et il faut mettre au service de la communauté, aussi bien pour son instruction que pour sa récréation les vastes réserves accumulées parfois depuis plus d'un siècle. Le musée est le seul service public qui utilise la méthode d'éducation visuelle dans les trois dimensions. L'habileté d'un conservateur de musée consiste essentiellement à permettre au public de voir réellement un objet plutôt que d'en lire ou d'en entendre une description. Un objet, présenté avec d'autres objets choisis en raison de leurs relations naturelles avec lui, et accompagné de notices explicatives

soigneusement rédigées possède une très grande valeur éducative.

Tout d'abord, les musées peuvent utiliser le matériel qu'ils possèdent pour illustrer et expliquer selon les idées modernes les sciences les plus traditionnelles telles que la botanique, la géologie et la zoologie. Ils peuvent par exemple montrer que l'écologie peut être beaucoup plus intéressante que la taxinomie. Le vestibule du musée pourrait être occupé par un grand diorama représentant les aspects typiques du paysage local avec les plantes et les animaux qui y vivent. On pourrait utiliser pour cela des spécimens soigneusement choisis des formations géologiques, des plantes représentées par des reproductions exactes ou des spécimens naturels soigneusement conservés, et des animaux typiques dans leurs postures caractéristiques. Un excellent exemple de cette méthode de présentation est la reproduction d'un paysage caractéristique de la côte de Gower (figure 1) dans une salle du Musée National du Pays de Galles. Dans certaines régions un seul diorama suffirait, dans d'autres régions plus favorisées possédant plusieurs types de paysages, il en faudrait davantage. On pourrait compléter ces reconstitutions d'un paysage et de son écologie par des groupes réalistes représentant la civilisation locale au cours des périodes préhistoriques et historiques dans la mesure où elles ont un rapport avec l'objectif visé par le musée. Des présentations de ce genre dans le vestibule, correctement éclairées par des tubes modernes à fluorescence retiendraient l'attention du visiteur fuyant la pluie. Si l'orage durait assez longtemps, ce visiteur pourrait conserver une impression durable des principes fondamentaux de la formation et de la beauté du paysage, et de la vie végétale et animale d'une portion au moins de la région dans laquelle il vit.

Bien que le profane plus sérieux puisse être lui aussi intéressé par ces dioramas, il a besoin de renseignements plus détaillés, et il est nécessaire de mettre à sa disposition une série de galeries représentant dans leurs grandes lignes la géologie, la zoologie, la botanique et l'archéologie. On peut aussi amener le visiteur à envisager la terre comme partie du système solaire au moyen d'un planétarium simplifié. On peut représenter graphiquement les dimensions relatives du soleil, de la terre et des autres planètes et les énormes distances qui les séparent, et conduire ainsi tout naturellement le visiteur à l'étude de la terre elle-même. On peut alors lui montrer les principes généraux des processus géologiques, le plissement (figure 5) et la destruction des roches, et illustrer les premières formes vivantes par des exemples soigneusement choisis et si possible de provenance locale.

Le visiteur serait ensuite amené, en suivant le sens unique (qui devrait toujours être prévu dans un musée même si les impatients doivent y contrevenir continuellement) vers la section de zoologie qui est toujours très appréciée. Là non plus il n'est pas souhaitable de fournir un exemplaire correctement étiqueté de chaque animal vivant dans la région, ou, si l'on en a les moyens, dans le monde entier; mais il faut plutôt essayer de présenter les spécimens capables d'attirer l'attention sur les principes et les parentés fondamentales et des exemples typiques des différents embranchements. De même que pour les autres sujets classiques de musées, il est important d'insister sur l'application de la zoologie à la vie quotidienne. Ceci est particulièrement bien illustré au Musée National du Pays de Galles par une exposition qui traite de la vie animale dans une ville et montre les modifications que peut lui faire subir l'urbanisme moderne.

En botanique également il faut résister à la tentation de donner une énumération parfaite mais monotone de la flore de la région et faire ressortir au contraire les associations naturelles ainsi que la conception des plantes en tant qu'organismes vivant dans un milieu bien déterminé. Un stand montrant des plantes sauvages ou cultivées de la région, et un autre consacré à des expériences sur les plantes vivantes constituent un élément essentiel et toujours apprécié. On peut trouver de nombreuses idées de présentations de ce genre pour l'agriculture, l'horticulture et la silviculture. On n'insistera jamais assez sur le fait que le musée de l'avenir doit se préoccuper plutôt d'idées que d'objets. Des galeries illustrant des thèmes tels que l'évolution, l'hérédité, la conquête de la matière par l'homme, ou les moyens de transport à travers les âges (figure 4), remplaceront les collections systématiques et fastidieuses d'animaux empaillés, de plantes séchées et de minéraux.

Pourvu de ce fond d'idées sur les conditions de milieu, le visiteur passe naturellement à l'étude de l'homme et de ses travaux. Cette section commence évidemment avec l'étude de l'homme lui-même: le musée de Newark est remarquable pour sa réussite à ce point de vue (figure 2). La plupart des musées possèdent des objets datant de l'ère préhistorique et des premiers âges de l'histoire et provenant des environs, ainsi qu'une quantité considérable de matériel ethnologique illustrant

FIGURE 1 – *Exposition à la section de Botanique du Musée National du Pays de Galles, à Cardiff, présentant des plantes de rocher poussant sur du calcaire sur la côte de Gower.*

(Autorisation du National Museum of Wales.)

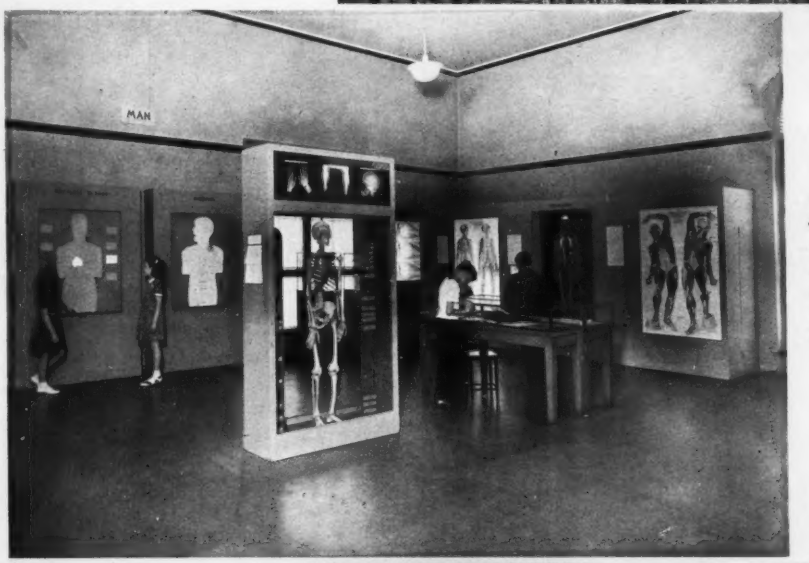


FIGURE 2 – *Le coin de «l'homme». Présentation remarquable faite selon les méthodes modernes d'exposition et montrant la structure et le fonctionnement du corps humain.*

(Autorisation du Musée de Newark, New Jersey.)

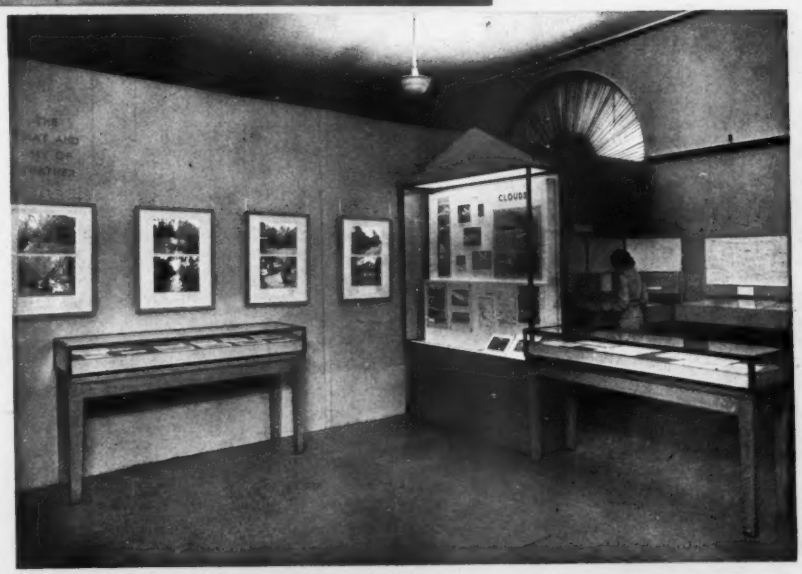


FIGURE 3 – *Exposition de Météorologie. Ce sujet est généralement considéré comme peu adapté à la présentation dans un musée, le Musée de Newark a réussi une exposition constituée par des photographies et des graphiques simples.*

(Autorisation du Musée de Newark, New Jersey.)

FIGURE 4 – *Moyens de transports au début du XIXe siècle. Diorama dans la Galerie des enfants, Science Museum, South Kensington.*

(Autorisation du Science Museum, South Kensington.)

FIGURE 5 – *Modèles de la section de Géologie du Musée National du Pays de Galles, à Cardiff, illustrant la stratification et le plissement des roches. L'expérience a montré que des présentations de ce genre sont intelligibles même sans notices explicatives.*

(Autorisation du National Museum of Wales.)

FIGURE 6 – *« Des contacts nouveaux modifient les éléments culturels ». Exposition d'après les techniques modernes montrant l'évolution, au cours de quatre périodes de temps, de différents objets manufacturés—masses de guerre, pipes, cuillers, etc.*

(Photographie de Harvey Croze; Autorisation du Cranbrook Institute of Science, Michigan.)

les arts et métiers des différents peuples autochtones. Du matériel de ce genre se prête aux méthodes modernes d'exposition, et l'on pourra certainement utiliser dans les musées d'après-guerre les ingénieuses techniques qui ont rendues si intéressantes les expositions ouvertes pendant la guerre sous l'égide du Ministère de l'Information et d'autres organismes. Des méthodes de ce genre ont d'ailleurs déjà été adoptées, notamment à l'Institut Scientifique de Cranbrook, Michigan (figure 6) où des spécimens relativement peu nombreux sont disposés en cercles concentriques. Il faut éviter de céder à la tendance consistant à montrer un trop grand nombre de spécimens d'une même série, et il faut essayer de représenter de façon aussi vivante que possible le mode de vie habituel des individus au cours des différentes périodes historiques, et, dans les grands musées, dans les diverses parties du monde. Les comités directeurs des musées se sont récemment intéressés au passé immédiat et la science de la vie populaire a pris naissance. Elle traite des métiers et des industries au cours des trois cents dernières années et cherche à montrer comment vivaient et travaillaient nos ancêtres. C'est une science passionnante qui en est encore au stade d'accumulation des faits mais dans laquelle on commence à essayer de formuler des hypothèses. Elle est particulièrement intéressante parce qu'elle encourage le visiteur à faire lui-même des observations sur des sujets concernant essentiellement l'homme, et grâce à elle beaucoup de profanes se sont mis à collectionner des faits dans les environs de leur localité. Le musée montre à beaucoup de gens que le premier stade de toute science consiste à accumuler des faits et des documents et non pas à formuler une théorie ou une hypothèse.

En addition au vestibule et aux galeries générales d'exposition, un musée devrait comporter des salles réservées à ceux qui désirent faire des études plus sérieuses. Elles renfermeraient la partie la plus importante des collections, disposée avec une très grande précision et étiquetée selon les nomenclatures les plus récentes. Cette section comporterait le matériel nécessaire à la recherche qui est une autre fonction importante de l'activité d'un musée moderne. Les sujets classiques de musée peuvent ainsi être exposés de façon plus conforme aux données de la science moderne.

Aujourd'hui le grand public tend à s'intéresser plus particulièrement à l'astronomie, à la physique, à la chimie, à la médecine, à la biologie et à la construction mécanique. La structure atomique a plus d'intérêt que les papillons et les fossiles. Quelques musées ont déjà exposé du matériel et des conceptions illustrant quelques aspects de ces sciences, mais il est maintenant certain que les autres doivent considérer plus sérieusement ces besoins nouveaux et y pourvoir, saisissant ainsi l'occasion offerte de remplir leurs fonctions de moyens visuels d'éducation.

Nous avons déjà parlé de l'astronomie comme introduction à la géologie. Mais elle peut être traitée de façon beaucoup plus détaillée et l'intérêt du public récemment accru pour cette science doit être encouragé. Le musée pourrait exposer en addition aux modèles déjà cités, d'autres modèles reproduisant les mouvements des astres, accompagnés de données explicatives simples, illustrant par exemple les éclipses solaires et lunaires. Il est possible de montrer le développement historique des idées concernant la formation de la terre et des planètes, au même degré que les emplois astronomiques du télescope et du spectroscope.

Pour illustrer la chimie au musée, il faut s'attacher aux *applications* des connaissances systématiques, notamment dans les procédés techniques des industries locales. Le profane cherche aujourd'hui à mieux comprendre le problème qui l'intéresse plutôt qu'à assimiler des faits nouveaux et des curiosités qui ne le touchent pas personnellement. On peut exposer et expliquer les substances nouvelles telles que les matières plastiques et les nombreux autres matériaux synthétiques qui ont fait leur apparition au cours de ces dernières années, en même temps que les principes des méthodes utilisées dans leur fabrication. Des expositions de ce genre arriveront vite à dissiper la croyance trop répandue que seuls les objets et les idées démodées devraient se trouver dans un musée.

Le grand public est extrêmement intéressé par les théories modernes sur la constitution de la matière comme en témoigne l'intérêt extraordinaire manifesté pour la littérature concernant la bombe atomique. La plus grande partie de ceci, ainsi que les principes de l'analyse aux rayons X, peut être illustrée visuellement.

Pour beaucoup de sujets les musées peuvent fournir le fond historique permanent sur lequel est basée la solution des problèmes actuels. Ceci est particulièrement vrai en physiologie, en anatomie, en médecine, et même en psychologie et en sociologie. Les musées doivent montrer comment une nation vit et travaille pour gagner sa vie; comment elle se comporte vis-à-vis de la nature et de ses produits. Des objets illustrant l'état sanitaire et l'alimentation d'une nation, les

nombreux faits fondamentaux utilisés dans l'urbanisme moderne, et les procédés techniques entrant en jeu dans la préparation de produits nouveaux sont parmi ceux qui montrent comment on s'attaque aujourd'hui à des sujets jusque là négligés. Au musée de Newark (figure 3) on a trouvé moyen de faire une exposition sur un sujet aussi peu concret que la météorologie.

L'esprit d'initiative est le facteur essentiel de succès dans les musées scientifiques modernes. C'est la diversité et non l'uniformité qui doit être la note dominante pour les musées comme elle l'est pour la nation britannique. Les musées traversent aujourd'hui une période de transition, quittant un passé bien établi pour aboutir dans l'avenir, en passant par un présent assez confus, à une période de contact plus étroit avec la vie de la communauté. La science acquiert chaque jour une maîtrise plus grande de la matière sous toutes ses formes et il est essentiel que les musées soient toujours prêts à mettre les connaissances nouvelles à la disposition du public qui doit être, et désire être, toujours bien informé des derniers progrès de la science.

Mais cette nouvelle conception des musées comme porte-parole de la science plutôt que comme entrepôt de fossiles et de papillons demande une coopération étroite des sociétés scientifiques et des spécialistes; les musées ne peuvent se passer de leur aide et de leurs conseils pour pénétrer dans les domaines nouveaux de la science. Le bénéfice est réciproque car si les musées renseignent le public sur les progrès de la science et le travail des hommes de science, ils aident également les travailleurs scientifiques dans leurs recherches. L'enseignement scolaire a une fin et on ne peut le recommencer, mais la véritable éducation qui n'est autre que la conscience et l'appréciation de l'homme et de la nature n'est jamais terminée. C'est l'interprétation visuelle de l'éducation conçue sous cette forme que les musées doivent encourager et stimuler. En embrassant la science dans son ensemble les musées peuvent faire beaucoup pour permettre à chacun de découvrir et de cultiver la question qui l'intéresse dans les branches spécialisées des différents sujets.

L'auteur désire exprimer sa reconnaissance à tous ceux de ses collègues qui ont discuté avec lui, verbalement ou par correspondance, quelques-unes des questions traitées dans cet article.

Sir James Hopwood Jeans

La nouvelle de la mort à 69 ans de Sir James Hopwood Jeans, membre de l'Ordre du Mérite, membre de la Société Royale de Londres, le 16 septembre 1946, sera accueillie avec un profond regret. Connu dans le monde entier non seulement pour ses travaux originaux de physique mathématique, mais aussi pour ses lucides ouvrages de vulgarisation, il avait fait une carrière académique brillante: parmi les nombreuses chaires qu'il a successivement occupées, on peut mentionner celle de Mathématiques appliquées à Princeton (1905 a 1909), celle de Mathématiques appliquées à Cambridge (1910 a 1912) et celle d'Astronomie à l'Institution Royale. Il avait aussi rempli de nombreux autres postes importants tels que secrétaire de la Société Royale de Londres (1919 a 1929), président de la Société Royale d'Astronomie (1925 a 1927) et président de l'Association Britannique pour le Progrès des Sciences (1934). Les universités et les sociétés scientifiques du monde entier l'avaient honoré et parmi de nombreuses récompenses, il avait reçu la médaille de la Société Royale de Londres, la médaille d'or de la Société Royale d'Astronomie et la médaille de l'Institut Franklin.

La première de ses importantes contributions au progrès de la science fut la confirmation de la loi de radiation du corps noir énoncée par Lord Rayleigh. Très vite Jeans reconnut l'importance dans ce domaine de la théorie des quanta de Planck et l'utilisa adroitement pour le développement de ses propres théories. Il fut aussi le premier à donner, en 1903, une preuve rigoureuse de la loi de Maxwell sur la distribution des vélocités parmi les molécules d'un gaz. Ses ingénieuses théories sur l'origine des planètes et de leurs satellites et sur l'émission des radiations stellaires ont de nombreux partisans. On n'oubliera pas non plus son interprétation philosophique de la science moderne; ses théories ont certes fait l'objet de nombreuses controverses; elles n'en sont pas moins une tentative courageuse, mais réfléchie, de résoudre des problèmes dont les difficultés ont fait reculer la plupart de ses contemporains. Sa mort est une lourde perte pour la science anglaise. Jeans s'était vivement intéressé dès le premier jour à ENDEAVOUR dont il était un collaborateur très apprécié.

La fluorescence des composés organiques

N. CAMPBELL

L'étude des substances fluorescentes minérales a conduit non seulement à des résultats intéressants pour la compréhension de la structure atomique, mais encore pour le développement commercial de la lampe à luminescence. La fluorescence dans la série organique est également importante aussi bien en théorie qu'en pratique. Bien que le problème fondamental du rapport entre la fluorescence et la constitution chimique ne soit pas encore résolu, son étude a fourni de nombreuses données sur ce phénomène.

Certains colorants présentent un brillant caractéristique désigné sous le nom de *fluorescence*, et dont l'exemple le plus connu est la coloration verte, vive et chatoyante, obtenue par addition de la matière colorante appelée fluorescéine à une solution alcaline aqueuse. Brièvement, on peut définir la fluorescence comme étant la propriété de plusieurs substances d'absorber de la lumière d'une longueur d'onde donnée et d'en émettre une partie sous forme de lumière de longueur d'onde supérieure.

La fluorescence a été observée et décrite il y a des centaines d'années; Boyle, par exemple, avait remarqué la couleur des extraits de certains bois. Plus tard, d'autres chercheurs, tels le célèbre physicien écossais Sir David Brewster, l'un des fondateurs de la *British Association*, étudièrent le phénomène, mais malgré l'excellence de certains de leurs travaux, firent peu de progrès du point de vue théorique. Ce n'est qu'en 1852 que Sir George Stokes attaqua le problème de façon systématique et donna une description claire de la véritable nature de la fluorescence.

LA FLUORESCENCE

Pour la plupart d'entre nous, lumière signifie couleur, ce que l'on appelle « lumière blanche » étant un mélange des couleurs du spectre. Exprimons cette idée différemment et nous dirons que la lumière blanche est composée de lumières de longueurs d'onde différentes. Dans la région des ondes courtes, on trouve le violet et le bleu et à l'autre extrémité du spectre le rouge. Toutefois la lumière visible ne représente qu'une partie déterminée de la lumière: on trouve aux deux extrémités du spectre visible d'autres formes de lumière appelées respectivement radiations *ultra-violettes* et *infra-rouges*.

Bien que la lumière ultra-violette soit invisible pour l'œil humain, tout comme d'autres radiations, telles que les ondes de T.S.F., et soit parfois appelée lumière « noire » ou lumière « sombre », sa présence est facilement décelée et de diverses façons. Photographiquement, par exemple, puis qu'elle noircit le chlorure d'argent. Sa présence peut être mise en évidence de manière encore plus frappante par les couleurs souvent étonnamment brillantes produites lorsque ses rayons invisibles tombent sur certains minéraux ou sur certains composés chimiques. L'un des plus connus est le spath fluor (fluorure de calcium) qui devient fluorescent en lumière ultra-violette et prend une belle couleur bleue. Stokes qui observa ce phénomène désigna ce genre de luminescence par le mot fluorescence.

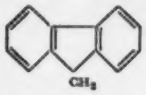
FLUORESCENCE DES COMPOSÉS ORGANIQUES

La méthode la plus pratique de production de lumière ultra-violette consiste à employer la lampe à vapeur de mercure et à éliminer la plupart des rayons visibles à l'aide d'un filtre de verre convenable. Il est probable que, sous l'action de cette lumière, la majorité des composés organiques deviennent fluorescents, mais ce phénomène n'est facile à observer que dans un nombre restreint de cas. La liste suivante (p. 156) indique quelques composés organiques fluorescents caractéristiques.

Il est intéressant de noter que plusieurs composés, tels que le sulfate de quinine et l'anthracène qui sont incolores en lumière ordinaire, peuvent être décelés et identifiés par leurs couleurs fluorescentes caractéristiques en lumière ultra-violette. Il ne faut pas oublier, cependant, que la fluorescence peut souvent tenir à la présence de traces infimes d'impuretés. L'exemple classique de ce fait est celui du fluorène, hydrocarbure du goudron de houille, isolé pour la première fois par Marcellin Berthelot en 1867 au cours de ses célèbres travaux sur les hydrocarbures pyrogénés. Berthelot fut si frappé par la fluorescence de ce composé qu'il lui donna le nom de « fluorène ».

Composés organiques fluorescents en lumière ultra-violette	
Benzène	*Violet clair*
Stilbène	*Bleu-violet*
Naphtalène (pur)	*Légèrement violacé*
2 : 3-Diméthylnaphtalène ..	*Bleu-violet*
2 : 7-Diméthylnaphtalène ..	*Violet clair*
Anthracène (pur)	*Bleu vif*
Anthracène (industriel) ..	*Vert-jaune vif*
Phénanthrène	*Violet*
Fluoranthène	*Vert brillant*
1 : 2-Benzanthracène ..	*Bleu*
2 : 3-Benzanthracène ..	*Orange*
Pyrène	*Vert-jaune brillant*
Chrysène	*Violet vif*
Pérylène	*Orange-rouge vif*
Carbazol (industriel) ..	*Violet brillant*
Carbazol (pur)	*Violet clair*

Et cependant ce corps à l'état pur est peu ou pas fluorescent. Un échantillon commercial fortement fluorescent, par exemple, donne, après purifica-



Fluorène

Carbazol

tion par adsorption chromatographique, une belle substance blanche non-fluorescente.

Le carbazol, de structure assez similaire, est un autre corps généralement supposé fluorescent. En fait, certains auteurs ont affirmé que des échantillons fortement purifiés présentaient une fluorescence brillante. Nous avons établi au cours de nos recherches que le carbazol synthétique avait une fluorescence faible ou nulle et que les impuretés fluorescentes étaient aisément éliminées du carbazol du goudron de houille par adsorption chromatographique.

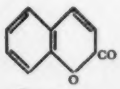
Les impuretés peuvent affecter la couleur de la fluorescence et même, dans certains cas, l'éteindre complètement. On peut illustrer le premier cas en citant l'exemple de l'anthracène: à l'état impur cet hydrocarbure présente une fluorescence jaune brillante et à l'état pur, une fluorescence bleue.

L'une des contributions les plus importantes de la chimie organique à la médecine au cours des dernières années a été l'isolement et l'identification par Cook des composés cancérigènes du goudron de houille. Il a été démontré que ce composé était un hydrocarbure aromatique, le 3 : 4-benzo-pyrène, qu'il fût possible d'isoler grâce à sa fluorescence caractéristique. De même dans les recherches relatives aux vitamines, on a pu constater l'importance du rôle de la fluorescence. Ainsi, la vitamine A est aisément décelée par ce moyen. Une coupe de tissu, fixé à la formaldéhyde, est éclairée par de la lumière ultra-violette filtrée. S'il contient de la vitamine A_1, l'échantillon présente une fluorescence verte pendant l'espace de quelques secondes, tandis que des tissus contenant de la vitamine A_2 présentent une lueur rougeâtre. Il est intéressant de dire que la riboflavine solide donne une fluorescence orange foncé brillante, tandis qu'en solution aqueuse la fluorescence devient vert intense.

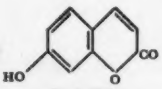
FLUORESCENCE ET CONSTITUTION CHIMIQUE

Il n'est pas de plus grand bonheur pour le chimiste organicien que de s'attaquer au plus délicat des problèmes, celui de la corrélation entre les propriétés physiques des composés et leur constitution chimique. Des centaines d'articles sur la couleur et la constitution chimique ont été publiés et bien des chercheurs ont essayé de trouver une relation entre la structure chimique et la fluorescence, mais, il faut bien l'admettre, sans grand succès.

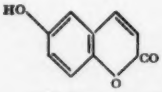
Une ou deux règles empiriques utiles prévalent. La fluorescence brillante s'observe principalement dans le cas de composés polycycliques aromatiques et dans le cas de composés hétérocycliques. La fluorescence dépend aussi beaucoup de la nature et de la position des groupes de substitution. On voit, par exemple, que la coumarine en solution alcaline n'est pas fluorescente, tandis que le dérivé 7-hydroxylé (l'ombelliférone) présente une



Coumarine



Ombelliférone



6-Hydroxycoumarine

belle fluorescence bleue. Le composé isomère, la 9-hydroxycoumarine, d'autre part, n'est fluorescente qu'en solution dans l'acide sulfurique. On n'a encore pu donner d'explication satisfaisante pour des faits de ce genre.

FLUORESCÉINE

Le composé fluorescent le plus connu est probablement la fluorescéine que l'on voit facilement à l'œil nu, en solution alcaline, même à une

FIGURE 1 (*à droit*)

Composés fluorescents solides.

1. Anthracène (pur)
2. Anthracène (brut)
3. Benzopyrène
4. Phénanthrène
5. Pyrène
6. Fluoranthène

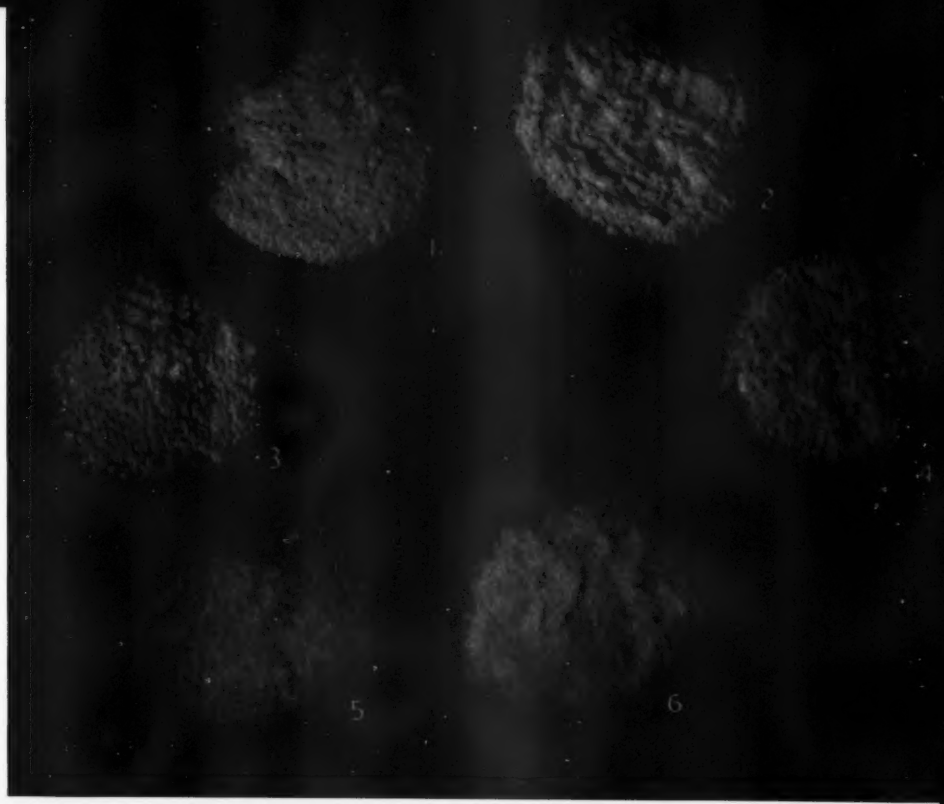


FIGURE 2 (*en bas*)

Solutions fluorescentes

(*de gauche à droite*)

Acide coumarique (en solution alcaline)
Sulfate de quinine (eau)
Pérylène (éther)
Pérylène (benzène)
Fluoranthène (benzène)
2 : 3-Benzanthracène (benzène)
Pyrène (benzène)
Phénanthrène (benzène)
Rhodamine B (glycérine-eau)

FIGURE 3*a* – *Photographie montrant l'écriture visible à l'œil nu.*

FIGURE 3*b* – *Photographie prise en lumière ultra-violette, montrant les caractères effacés à l'aide de produits chimiques.*

FIGURE 4*a* – *Chaussette photographiée en lumière ordinaire.*

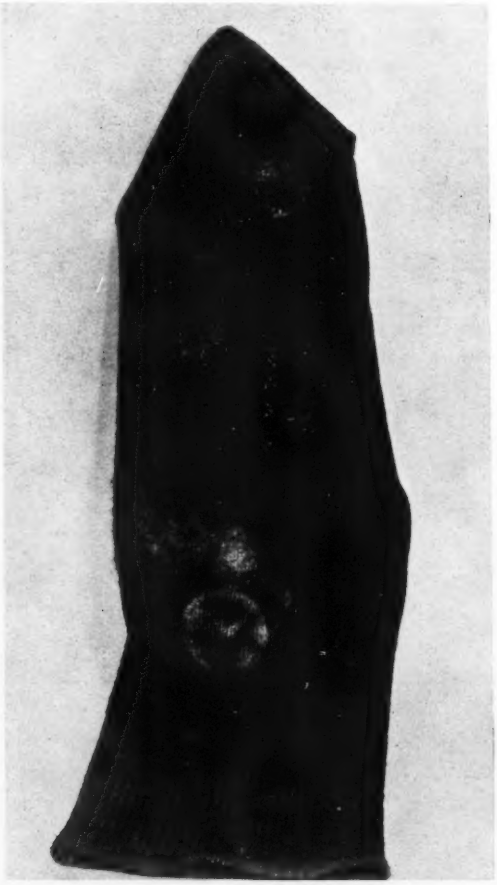


FIGURE 4*b* – *Chaussette photographiée en lumière ultra-violette. Les traces laissées par les pièces sont clairement visibles.*

concentration ne dépassant pas 1 pour 40.000.000. A l'aide d'appareils, elle peut même être décelée à de dilutions de l'ordre de 1 pour 200.000.000. Une application particulièrement intéressante au cours de la dernière guerre était celle du sauvetage des naufragés en mer. Les radeaux, difficiles à voir d'un avion, étaient munis d'un petit réservoir métallique contenant un dérivé de la fluorescéine. Le radeau mis à l'eau, était rapidement entouré d'une large surface fluorescente qui aidaient les avions dans leurs recherches et leurs travaux de sauvetage.

On a largement utilisé la fluorescéine en hydrotechnique et en hydro-géologie. L'eau potable d'une ville d'Afrique du Sud, par exemple, avait été contaminée par du *B. coli*. La fluorescéine permit de découvrir une fissure dans la roche à travers laquelle de l'eau contaminée provenant de marécages s'infiltrait dans l'eau destinée à la consommation urbaine.

Le cas le plus intéressant dans cet ordre d'idées est celui de l'emploi de la fluorescéine par Norbert Casteret, il y a quelques années. Depuis 1787 il y avait de grandes discussions au sujet de la source de la Garonne, dans les Pyrénées, auxquelles s'intéressaient particulièrement les habitants de la Haute-Garonne, qui dépendent de la rivière. Plusieurs « géographes en chambre » soutenaient que la Garonne prenait naissance à la source appelée Goueil de Jouéou, située dans la montagne à une altitude de 1.400 m. Casteret, après trois ans d'exploration intensive était arrivé à croire que le Goueil de Jouéou était alimenté par un torrent des hautes altitudes, situé à quelques kilomètres, le Trou du Toro. Cette théorie audacieuse, que la source de la Garonne était non pas le Goueil de Jouéou mais le Trou du Toro, avait été avancée auparavant, mais n'avait jamais été confirmée. Casteret régla la question une fois pour toutes en 1931, en versant 54 kg de fluorescéine dans le Trou du Toro, un soir de Juillet, à 8 heures. En quelques secondes, le torrent prit la fluorescente verte prévu. A 6 heures, le lendemain matin, la vive fluorescence verte apparaîtra au Goueil de Jouéou.

La découverte de Casteret avait plus qu'un intérêt académique. Elle était intéressante également du point de vue économique car il était question de détourner les eaux du Trou du Toro au profit d'une usine de force, en Espagne. La découverte de Casteret eût pour résultat l'abandon du projet dont l'application aurait diminué de moitié les eaux de la Garonne, avec de dures conséquences pour les riverains.

RECHERCHE CRIMINOLOGIQUE

Les encres « invisibles » apparaissent merveilleusement et les effaçures par des moyens chimiques deviennent instantanément visibles sous la lumière ultra-violette. Certains timbres-poste ont une valeur particulière sans oblitérations et de ce fait les timbres usagés sont parfois très habilement traités par des experts et ne révèlent rien à un examen attentif: mais ces maquillages sont évidents sous la lampe. On peut également distinguer les perles véritables des imitations, mais naturellement pas des perles de culture. Notons en passant que la fluorescence ne respecte pas l'individu; les teintures capillaires sont vivement fluorescentes sous les rayons ultra-violets révélateurs et ils ont forcé mainte blonde à admettre ce qu'elle devait à la chimie en général et à l'eau oxygénée en particulier.

On avait constaté à plusieurs reprises que des sommes d'argent disparaissaient d'un coffret fermé à clef, et un homme était soupçonné. Une certaine somme d'argent fut placée dans le coffret, quelques-unes des pièces furent saupoudrées d'anthracène et les autres d'une autre poudre fluorescente. La boîte ouverte un peu plus tard, on constata la disparition de 17 shillings. La police se rendit à la maison du suspect qui ne fit aucune difficulté lorsqu'on voulut le fouiller. On ne trouva sur lui aucune pièce de monnaie, mais à la lumière ultra-violette on observa une fluorescence révélatrice sur les poches du pantalon. Le coupable ne fit des aveux que lorsque sa chaussure et sa chaussette droite furent examinées à la lampe ultra-violette montrant des taches fluorescentes nettes à l'intérieur du soulier, tandis que la chaussette montrait le dessin précis de plusieurs pièces (figure 4*b*). Celles-ci étaient encore fortement fluorescentes lorsqu'on les retrouva.

La figure 3 montre clairement qu'un permis de conduire trouvé dans une automobile à Edimbourg et qui semblait avoir été délivré pour une voiture particulière Vauxhall noire, de 14 CV, avait en réalité été établi pour une voiture particulière B.S.A. verte, de 9 CV. La constatation ainsi faite donna lieu à une enquête qui aboutit à l'arrestation de voleurs qui avaient dérobé le permis à Londres et se servaient d'une voiture louée dans cette ville. Lors de leur arrestation ils étaient en possession de deux flacons de liquide permettant de rendre l'écriture sur un permis parfaitement invisible à la lumière ordinaire.

NOTE. Je tiens à remercier le Commissaire de police Morren, de la police municipale d'Edimbourg, de son obligeance à me procurer des informations et photographies.

Les valeurs de la science

E. F. CALDIN

L'article de M Caldin sur le rôle de la science dans la société, publié dans le numéro d'Avril de ENDEAVOUR, a suscité un vif intérêt. Dans ce nouvel article, il discute les relations entre la science et les valeurs philosophiques de vérité, perfection et beauté. Ces études ont une signification toute particulière, maintenant qu'une intense concentration sur les aspects matériels de la science a soulevé des problèmes philosophiques d'importance internationale.

On attribue généralement à la science deux ordres de valeurs. L'un concerne les avantages matériels que l'on peut attendre d'une technique fondée sur la science. L'autre concerne les valeurs de la science en soi. C'est ce second sujet dont je m'occuperai: la valeur pour un esprit scientifique des sciences naturelles et de la vie scientifique proprement dites.

Je supposerai que nous pouvons évaluer les connaissances scientifiques en fonction de la vérité, de la perfection et de la beauté avec lesquelles elles nous présentent un tableau de la nature et aussi dans la mesure où ce tableau nous révèle les valeurs correspondantes dans la nature matérielle. La vérité est manifestement liée au savoir, comme la perfection à l'amour. La beauté est étroitement liée aux deux autres valeurs, et nous pouvons dire que les choses sont belles pour autant que leur vérité et leur bonté sont évidentes à notre esprit, si bien que nous pouvons saisir leur forme intuitivement. Un ami est beau pour nous — plus qu'une pierre, par exemple — parce que nous avons une certaine connaissance intuitive du caractère d'un ami, et nous y prenons plaisir. Nous savons qu'un ami est une unité, une personne, non une série d'épisodes ou d'actions; et ceci par intuition, non par raisonnement. C'est cette connaissance intuitive d'un être aimable qui constitue la perception de la beauté. La beauté est donc une sorte de bien, provenant d'une sorte de connaissance; aussi est-elle intimement liée à la perfection et à la vérité. On peut dire de plus que vérité, perfection et beauté dépendent toutes de la *forme* — ordre, cohérence, plan, unité. Une chose est d'autant plus digne d'être connue et aimée que sa forme est plus développée — un ami plus qu'un écureuil, et un écureuil plus qu'un caillou. C'est dans la forme que ces niveaux d'existence — humain, organique, minéral — diffèrent l'un de l'autre. La matière est la même pour tous, mais la forme de l'homme est une âme rationnelle, et par suite se place au-dessus de celle d'un organisme, qui peut croître, se développer et se reproduire, et se trouve par conséquent au-dessus de la forme de la nature non-organisée. La forme la plus évoluée est plus digne à la fois de connaissance et d'amour, et puisqu'elle est plus à la portée de notre cerveau ou de notre intuition, et que cette intuition nous procure le plus de plaisir, elle est, par conséquent, la plus belle. C'est donc par les degrés de forme que nous pouvons juger de la valeur.[1]

Nous pouvons appliquer ce raisonnement à la beauté dans le domaine artistique, et tout d'abord, aux « beaux-arts ». Si l'on admet que l'objet de ces arts soit la forme *significative*, l'artiste doit choisir et distiller les données de l'expérience, pour que la forme qu'il crée donne une vision intuitive d'une réalité donnée. Ce qui nous charme à première vue dans une œuvre d'art est la perception intuitive de sa forme. La beauté première d'une œuvre d'art n'est pas la beauté de ce qu'elle représente; elle a une beauté indépendante, liée à la joie de voir quelque chose dans son ensemble, d'arriver à une connaissance intuitive. Si nous aimons la réalité représentée par la forme, nous sommes d'autant plus charmés, car nous arrivons à une beauté nouvelle à travers l'œuvre d'art. Nous trouvons un portrait beau en soi parce que nous y voyons condensée sous une seule forme toute la complexité d'une personnalité, d'une vie humaine; si, de plus, nous aimons le personnage, nous sommes d'autant plus charmés de cette beauté révélée et présentée à notre esprit à travers l'art. Une œuvre d'art nous offre donc à la fois sa propre beauté, et celle de la réalité qu'elle représente.

Evidemment, plus l'expérience mise en jeu sera variée et étendue, plus grande sera l'œuvre d'art.

[1] Cf. J. Maritain, *Art and Scholasticism*, etc.; et différents écrivains résumés dans la collection de textes de E. F. Carritt, *Philosophies of Beauty*.

De plus, l'œuvre d'art est d'autant plus grande que sa forme extérieure est à la mesure de la réalité représentée. La forme doit avoir une complexité unifiée, une richesse ordonnée, une variété dans l'unité, proportionnées à la réalité représentée. C'est la variété dans l'unité qui sera, en fait, notre fil conducteur dans l'analyse de la beauté en philosophie, en littérature, en science.

Tournons-nous maintenant vers la science de la nature, et vers la nature matérielle, source de ses données. Toutes deux ont des valeurs bien distinctes. Nous pouvons considérer la science comme une œuvre d'art, parce qu'elle possède sa forme propre, construite pour révéler ou donner la signification de la forme de la nature (ou plutôt de son aspect quantitatif). Nous pouvons, en premier lieu, traiter la science comme une systématisation des données des sens, une unification des quantités mesurées.[1] Les mesures sont liées entre elles par des relations rationnelles, dans la construction de relations fonctionnelles à partir d'elles, et ces lois empiriques sont reliées par des lois plus générales. Ces lois sont elles aussi unifiées par l'interprétation théorique, dont on pourrait déduire, si elle était complète, les lois empiriques, et par suite le comportement des systèmes expérimentaux. C'est dans cette unité, cette forme, que nous pouvons trouver la beauté de la science: c'est l'espèce d'harmonie, de variété dans l'unité, qui la caractérise. C'est une unité où sont combinées les mesures de phénomènes divers, les lois empiriques, et les interprétations de tout ordre de généralité; tous ces aspects sont unifiés dans la mesure où l'on peut les déduire comme cas particuliers de l'interprétation théorique générale. L'unité n'est pas seulement dans la rigueur logique de l'interprétation théorique (analogue à la rigueur logique des mathématiques), c'est une unité plus riche, parce que des observations expérimentales sur les systèmes matériels sont unies dans un développement logique, pour autant que les faits déduits de ce développement s'accordent avec l'expérience.

Cependant, nous pouvons considérer la science, non pas simplement comme un système coordonné mais comme une source de croyances rationnelles sur la nature matérielle. Puisqu'elle possède un ordre logique, et se fonde sur l'expérience de la nature matérielle, elle nous présente évidemment une image de l'ordre dans la nature, de la forme de la nature, de l'interdépendance des choses et des évènements. Mais le système scientifique ne peut avec son seul ordre logique rendre compte convenablement de l'ordre de la nature, qui doit être causal, et pas seulement logique. Il apparaît qu'en sciences nous symbolisons l'ordre de causalité dans la nature par l'ordre logique du développement théorique, c'est-à-dire que nous représentons la causalité par la possibilité de déduction. C'est ainsi que la science représente la nature.

Si nous considérons la méthode scientifique nous comprendrons pourquoi la science physique doit se contenter de réfléchir plutôt que de décrire la forme de la nature. Dans l'observation physique nous nous imposons deux limitations. D'abord, nous nous limitons à la nature matérielle; nous omettons toute considération d'acte humain — comme celle de l'agent humain, l'expérimentateur — ou de Cause Première, de Dieu, qui maintient l'existence de la nature. En second lieu, nous nous limitons aux aspects mesurables d'un objet matériel. Nous trouvons qu'il y a des relations entre les quantités mesurées (telles que longueur et température) que l'on peut exprimer par des équations, et nous construisons à partir de ces équations une interprétation théorique qui les unit. Il est évident que ce développement théorique sera mathématique, car il doit amener l'unité dans un groupe d'équations, il sera lui-même un groupe d'équations dont on pourra déduire les relations expérimentales. C'est pourquoi ce développement admettra seulement des inférences et négligera les causes. Et il est évident que le développement est mathématique, parce que dès le début nous nous limitons aux caractéristiques mesurables. C'est ainsi que les limites du développement théorique, comme source de croyances sur la nature, sont dues à la méthode même des sciences physiques.

La science n'est donc pas une description adéquate de la nature; c'est un portrait, fait par un observateur avec un point de vue particulier et un champ visuel nettement limité. La science naturelle ne peut nous apprendre à quoi sert la nature matérielle, comment et pourquoi elle existe, ni pourquoi elle a des lois. Dans la mesure où nous pouvons répondre à ces questions, nous le faisons dans les termes d'une vue d'ensemble plus étendue, expliquée par la philosophie, exprimée de façon concrète par la poésie. « L'homme de science qui veut faire contribuer ses connaissances profondes à une sagesse absolue doit d'abord les compléter en acquérant une connaissance totale de la nature, non dans tous ses détails, mais dans tous ses aspects ».[2] Nous

[1] Je m'en tiens aux sciences physiques, mais je crois que la situation se révèlerait identique pour les autres sciences.

[2] F. Sherwood Taylor, *The Fourfold Vision*, chap. 6.

reconnaissons une telle sagesse comme bonne en soi, comme une partie importante de l'organisation d'une vie idéale, car pour vivre rationnellement un homme doit connaître sa situation; il doit avoir quelques connaissances sur la nature, l'homme et Dieu. D'une façon plus générale, la science ouvre une nouvelle fenêtre sur la vie et donne une meilleure notion de la vérité, de la perfection, et de la beauté en général, parce qu'elle offre une plus grande collection d'exemples à comparer. La science peut approfondir notre vue perspective de l'existence. Mais elle n'atteindra ce but que si nous examinons ses hypothèses, et reconnaissons ses lacunes; sans cela elle risque de fermer nos fenêtres l'une après l'autre.

J'ai considéré jusqu'à présent les valeurs de la science en tant que connaissance. Mais la *vie* scientifique a ses valeurs propres, qui ne sont qu'en partie déterminées par les valeurs de l'ensemble des connaissances scientifiques. Nous devons considérer de quelles autres façons la vie idéale pour les savants est influencée par leur travail.

La première est que la vie scientifique est une version simplifiée, un microcosme de la vie rationnelle. J'ai développé cette opinion dans un précédent article[1]: je suggérais brièvement que la vie scientifique demande (*a*) un souci de curiosité poussant à établir les faits, et (*b*) un effort pour les interpréter et en faire la synthèse, et par conséquent (*c*) une unité de pensée et d'action; que (*d*) c'est un exemple d'une tradition en cours d'évolution, désirant ardemment la nouveauté, mais tenant fermement à la vérité établie; que (*e*) elle a besoin de liberté aussi bien que d'un certain respect pour l'autorité, et que (*f*) c'est une entreprise en partie sociale, en partie individuelle. Une caractéristique supplémentaire particulière à la science est que (*g*) la vie scientifique demande de l'habileté manuelle aussi bien qu'intellectuelle.

Je suppose que, lorsqu'un homme a un « penchant » pour la science, c'est que son tempérament et ses possibilités concordent avec cette version particulière de la vie rationnelle. Il aime la solidité des données scientifiques, l'équilibre du fait et de la théorie, la facilité avec laquelle on les confronte. Il aime la nouveauté infinie de l'interprétation appuyée sur le fond solide des faits; l'équilibre du changement et de la stabilité, des hypothèses établies et des élans nouveaux qui brisent leurs chaînes. Il aime le mélange de liberté dans la présentation de données nouvelles et des théories qu'elles supportent, et de contrainte résultant de la domination des données établies de longue date. Il aime l'équilibre entre le travail intellectuel et le travail manuel. S'il est cet être rare, un maître de la science, il aime l'équilibre du raisonnement rigoureux et de l'intuition et de l'imagination dans les hypothèses créatrices. Si la vie scientifique est une version de la vie rationnelle, on peut l'employer aussi jusqu'à un certain point comme une école de vie rationnelle; elle peut servir à l'exposition de certains des principes de la méthode rationnelle en général. Elle est particulièrement bien adaptée à ce but (qui exprime en même temps ses limites) parce qu'elle ne demande ni sagesse profonde, ni connaissance du monde, mais que cependant elle entraîne l'esprit à penser logiquement, et démontre clairement la nécessité de l'expérimentation et de l'adhésion complète à celle-ci dans l'établissement d'une théorie. De plus, elle suggère des problèmes que seule la philosophie peut résoudre — le problème de la validité de sa propre méthode, par exemple. La science et la sagesse ne devraient donc pas être complètement séparées dans la vie d'un homme de science.

L'intelligence n'est pas seule à pouvoir être développée par la vie scientifique, la volonté peut l'être également. La science impose une discipline qui peut marquer le caractère aussi fortement qu'il stimule l'intelligence. La science, comme tout travail intellectuel demande (comme le dit von Hügel) « courage, patience, persévérance, honnêteté, simplicité, oubli de soi, générosité constante à l'égard des autres, empressement à corriger ses conceptions même les plus chères ».[1] Pour la science comme pour toute autre étude, l'attention doit porter en même temps sur les faits bruts, et sur leur interprétation synthétique; c'est pourquoi elle empêche un homme de se plonger en lui-même et vers ses penchants égoïstes, et l'amène à s'intéresser au monde extérieur et non à lui-même. Mais pour les hommes de science il est une discipline spéciale et particulière. La matière est perfide, et difficile à mener à sa guise; la technique de la recherche expérimentale est une dure et décevante bataille. La nature ne semble pas se soucier d'être comprise, elle cache ses secrets, et ses faits démolissent les théories. C'est dans ce contact entre « le fait brut et la loi de fer » que von Hügel a trouvé la base d'un ascétisme moderne et scientifique, et dans la soumission à cette discipline qu'il a trouvé

[1] ENDEAVOUR, avril 1946.

[1] *Eléments mystiques de la religion*, i, 349.

cette force de détachement, d'extériorisation de soi, si nécessaire, selon lui, à la vie idéale.

La science peut donc aider à stimuler l'intelligence et à discipliner la volonté. Elle influence dans cette mesure la vie idéale. Mais elle ne peut faire ce travail toute seule: son action doit être complétée par une éducation libérale et une culture étendue. L'utilisation correcte de la science comme école de vie rationnelle dépend de sa position dans un ensemble d'autres études et d'autres activités. La science en soi ne jette aucune lumière sur sa propre valeur, ni sur les valeurs en général. Ce n'est pas une grand'route à la connaissance universelle.

Revue des livres

LA CORROSION DES MÉTAUX

Metallic Corrosion, Passivity and Protection, *par Ulick R. Evans, avec un appendice par A. B. Winterbottom. Pp. xxxiv* + 883. *Edward Arnold, Londres. Deuxième édition*, 1946. 50*s. net.*

Quelle excellente référence pour l'auteur et le public scientifique qu'une seconde édition de ce livre soit nécessaire huit ans seulement après sa réimpression! Le livre contient maintenant 150 pages de plus, mais la qualité du papier de guerre est telle que son épaisseur est moitié moindre. Les éditeurs ont fait de leur mieux avec des matières premières de qualité inférieure. Quelques planches montrant les différents types de corrosion, les aspects micrographiques, eussent toutefois agrémenté un texte sévère et rompu la monotonie des diagrammes. Le livre a été refondu en grande partie, beaucoup de renseignements nouveaux ont été ajoutés, et certaines références portent même la date 1945: résultat excellent si l'on pense à la longue période qui s'écoule aujourd'hui entre la correction des épreuves et la publication. Apparemment l'article très détaillé de Logan et Romanoff publié aux Etats-Unis pendant l'automne de 1944 n'a pas été connu en Grande-Bretagne en temps voulu pour être discuté dans le livre.

Une brève introduction sur les principes de l'électrochimie a été ajoutée pour le bénéfice du lecteur sans formation scientifique poussée. Neuf chapitres concernent la corrosion proprement dite, quatre les méthodes de protection et un les techniques d'essai. Il semble que l'auteur eût mieux fait d'écrire un livre séparé sur les méthodes de protection: leur immense importance pratique vaut une étude très approfondie; les quatre chapitres de ce livre sont insuffisants et leur valeur réside surtout dans une bibliographie très complète. Comme partie intégrante d'un manuel, but apparent de l'auteur (voyez page iv), ils sont peu réussis. Il est curieux que l'on trouve aux pages 780–1, qui traitent des « erreurs accidentelles » et de « l'erreur standard », deux des très rares erreurs grammaticales de tout le volume! L'auteur n'a pas épargné ses remerciements aux nombreuses autorités qui l'ont aidé dans son important travail.

J. NEWTON FRIEND

LES ARBRES DE GRANDE-BRETAGNE

Trees in Britain, *par L. J. F. Brimble. Pp. x* + 352. *Macmillan & Company Limited, Londres.* 1946. 15*s. net.*

Les nombreux lecteurs du précédent livre de Mr Brimble, *Flowers in Britain* (« les Fleurs de Grande-Bretagne ») accueilleront favorablemente cet attrayant successeur. Les Anglais ont toujours aimé les arbres, et ce livre les charmera en les instruisant. Il y a évidemment beaucoup moins d'espèces d'arbres que de fleurs en Grande-Bretagne et l'auteur peut donc les décrire de façon plus détaillée. Le livre est destiné au grand public et ne suppose aucune connaissance de botanique. Les données fondamentales nécessaires à la compréhension du sujet font l'objet d'une introduction sur les phanérogames. Le livre lui-même traite de la structure des arbres, de leur classification, de leur écologie, de leurs habitats, et aussi de la place des arbres dans le folklore et la littérature. Les planches en couleurs ont été dessinées par des artistes spécialisés et quelques-unes des plus belles illustrations sont des reproductions de dessins au crayon de Lonsdale Ragg. Ce livre bien imprimé et bien présenté doit avoir sa place dans toute bibliothèque.

LA CHROMATOGRAPHIE

An Introduction to Chromatography, *par Trevor I. Williams. Pp. viii* + 100. *Blackie & Son Limited, Londres.* 1946. 10*s.* net.

La séparation et la purification des substances organiques par les méthodes chromatographiques prend rapidement une grande importance dans nos laboratoires. Ecrit par un spécialiste avec une expérience approfondie de cette technique, ce livre destiné aux étudiants sera aussi très utile aux chercheurs qui y trouveront tous les renseignements dont ils ont couramment besoin. Ceux qui désirent des informations plus détaillées se reporteront aux monographies antérieures de Zechmeister et Cholnoky, et Strain.

Après une brève description des premiers travaux sur la séparation des colorants naturels dûs à Tswett et vieux de 36 ans, l'auteur étudie les adsorbants (particulièrement l'alumine et sa standardisation), les solvants, et les liquides utilisés dans les colonnes d'adsorption, puis les différents types d'appareils, et donne enfin des renseignements trés complets et nourris d'exemples concrets sur la technique du laboratoire. L'ingénieux procédé d'examen des colonnes en lumière ultraviolette est étudié à fond, comme aussi l'usage des méthodes chromatographiques pour la séparation des substances incolores, et la méthode de Tiselius. En chimie minérale, la séparation des ions est une méthode d'analyse susceptible d'importants developpements et l'auteur décrit les récents travaux de Martin et Synge sur l'utilisation à cet effet du gel de silice. Le dernier chapitre est consacré à l'examen des théories qui servent de base à l'analyse chromatographique. Ce livre est à la fois très bien écrit, bien illustré et soigneusement édité.

W. BAKER

LE BLANCHIMENT DES PRODUITS TEXTILES

An Introduction to Textile Bleaching, *par J. T. Marsh. Pp. xiii + 512, avec 154 figures dont 32 planches. Chapman & Hall Limited, Londres.* 1946. 32*s. net.*

Dans cet ouvrage l'auteur nous a donné un excellent petit livre de plus dans sa série concernant la chimie et la technologie des produits textiles. C'est un digne compagnon de son *An Introduction to the Chemistry of Cellulose* (« Introduction à la chimie de la cellulose ») et de son *Mercerising* (« Mercerisage »): il donne pour la première fois un exposé complet d'un sujet dont les données sont dispersées dans toutes les revues spécialisées du monde entier.

Bien écrit et bien conçu, il expose les principes fondamentaux sous une forme qui conviendra aussi bien au débutant qu'à l'homme expérimenté assez désireux de progresser pour demander à la science l'aide qu'elle peut lui donner; l'auteur connaît la valeur de ces principes et consacre une bonne partie de son livre à la structure des différentes fibres textiles: c'est seulement quand il est sûr que ces notions de base sont suffisamment expliquées qu'il passe à la question du blanchiment lui-même. Excellent exemple que devraient bien suivre les auteurs de ce genre de livres: trop souvent un exposé insuffisant des principes fondamentaux enlève beaucoup de valeur à ces études technologiques.

La modernisation de l'industrie textile est aujourd'hui un problème urgent: sa solution dépend au premier chef de l'application des principes et des méthodes scientifiques à une industrie qui n'a jusqu'ici progressé qu'empiriquement; nous avons besoin à cet effet de bons manuels sur la science des textiles: une lacune que M Marsh aide admirablement à combler.

J. G. COOK

UN MANUEL DE CHIMIE

General and Inorganic Chemistry for University Students, *par J. R. Partington. Pp. xxiii + 916. Macmillan & Company Limited, Londres.* 1946. 36*s. net.*

Le Professeur Partington est connu comme un excellent pédagogue, et ses manuels de chimie sont caractérisés par leur exactitude et leur style sobre et clair. Ce livre est destiné aux classes supérieures des écoles et aux étudiants de première année, ainsi que, pour la chimie minérale, aux étudiants de troisième année; l'auteur espère que son livre sera également utile aux étudiants qui visent les diplômes supérieurs.

La première partie du livre concerne la chimie générale et la chimie physique; elle contient entre autres un exposé remarquable de la théorie quantique de l'atome. Les éléments sont ensuite étudiés dans l'ordre de la classification périodique. Bien que cet ordre ait ses désavantages, personne n'en a trouvé un meilleur et il a en tous cas une base physique.

Comme dans son manuel *Textbook of Inorganic Chemistry for University Students*, le Professeur Partington a inclus des descriptions d'expériences à faire pendant les cours et donné une liste de livres consacrés à cette question. Les détails des procédés modernes sont décrits, à moins qu'un procédé ancien ne présente un intérêt scientifique indiscutable. L'auteur donne de nombreuses références aux mémoires originaux et insiste à juste titre sur l'intérêt pour les étudiants d'étudier quelques-uns de ces textes. Le livre contient une masse d'informations, mais présentée de façon si claire que l'étudiant l'assimilera et l'utilisera sans peine.

LA MICRO-ANALYSE EN CHIMIE BIOLOGIQUE

Micro-Analysis in Medical Biochemistry, *par E. J. King. Pp.* 168. *J. & A. Churchill Limited, Londres.* 1946. 10*s* 6*d. net.*

Ce livre donne des instructions simples et précises pour l'éxécution de toutes les investigations et analyses habituelles en chimie biologique et susceptibles d'être utiles dans un laboratoire de pathologie, y compris la préparation des réactifs et le calcul des résultats. Il est même plus complet que ne le laisse supposer le titre, puisque certaines méthodes, telles que celles qui sont employées pour l'urine, peuvent difficilement être considérées comme de la micro-chimie.

En dehors d'une table donnant les valeurs normales de certains éléments des humeurs et des fèces, une autre indiquant les états pathologiques associés à des valeurs plus hautes ou plus basses et une note occasionnelle, on ne trouve aucun commentaire sur l'interprétation des résultats: ce ne pouvait être le but du livre et n'en diminue donc pas la valeur. Bien que les instructions soient adéquates et extrêmement claires, on ne dit que peu ou rien des limitations des méthodes décrites et les références à des descriptions plus complètes sont rares. Le livre s'addresse donc moins à l'étudiant ou au clinicien qu'à ceux dont la tâche bien délimitée est l'examen et l'analyse: pour eux, il aura la plus grande valeur.

Bien présenté, imprimé en gros caractères, il contient d'utiles chapitres sur les méthodes colorimétriques, les examens spectroscopiques simples et les essais biologiques: il aura sa place dans la bibliothèque de chaque laboratoire d'analyse pathologique.

N. G. HEATLEY

DIAGRAMMES DE PHASES POUR SOLUTIONS AQUEUSES

Aqueous Solution and the Phase Diagram, *par Frederick Field Purdon et Victor Wallace Slater. Pp. iv + 168. Edward Arnold, Londres.* 1946. 24*s. net.*

Dans ce livre bien présenté, les auteurs expliquent la construction des diagrammes de phases pour systèmes hétérogènes, dont ils commentent clairement et complètement l'interprétation; ils démontrent comment l'application de principes géométriques simples permet d'utiliser ces diagrammes pour résoudre qualitativement et quantitativement des problèmes comme l'extraction de substances pures à partir de mélanges, la préparation de sels doubles et d'hydrates, la réutilisation d'eaux-mères en cycle continu, l'exacte proportion de dilution ou d'évaporation nécessaire pour le résultat le plus économique compatible avec la pureté des produits, et les effets de l'addition de sels ou de l'accumulation d'impuretés. On peut aussi déduire de ces diagrammes l'état exact de la marche des opérations et les conditions optima de fonctionnement.

Ce livre sera extrêmement utile à l'industriel. Les diagrammes sont clairs et bien dessinés; des tables de données expérimentales permettront à l'étudiant de construire lui-méme ses diagrammes; on peut chaudement recommander ce livre bien que le chapitre final traitant de la règle des phases de Gibbs soit trop bref pour être réellement utile.

ALEXANDER FINDLAY